



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### **Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>


Chem  
7558  
95

Chem 7558.95

**EX LIBRIS**  
**WILLIAM ROBINSON LAMAR,**  
No. .... Cost.....  
Acquired .....

**SCIENCE CENTER LIBRARY**

**HARVARD COLLEGE  
LIBRARY**



**FROM THE LIBRARY OF  
WILLIAM ROBINSON LAMAR**

**SEPTEMBER 22, 1930**

Digitized by Google









6

DIE  
BEARBEITUNG DES GLASES  
AUF DEM BLASETISCHE.

---

EIN HANDBUCH  
FÜR STUDIRENDE, WELCHE SICH MIT WISSENSCHAFT-  
LICHEN VERSUCHEN BESCHÄFTIGEN.

VON

D. DJAKONOW UND W. LERMANTOFF  
LABORANTEN DER KAISERLICHEN UNIVERSITÄT ST. PETERSBURG.

---

MIT 30 ABBILDUNGEN.

---



BERLIN.  
VERLAG VON R. FRIEDLÄNDER & SOHN.  
1895.



Chem 70 58.95

v

HARVARD COLLEGE LIBRARY  
FROM THE LIBRARY OF  
WILLIAM ROBINSON LAMAR  
SEPT. 22, 1930

---

Druck von A. Hoyer in Burg b. M.

## Vorwort.

---

Die meisten Handbücher zum Erlernen von Handwerken und Handfertigkeiten sind gewöhnlich so abgefasst, dass beim Lesen derselben nur zu leicht Zweifel aufsteigen, ob denn das Buch wirklich das Erlernen des betreffenden Gewerbes zu erleichtern vermag. Der Grund hiervon ist wohl der folgende. Wirklich tüchtige, professionelle Arbeiter geben sich sehr selten mit dem Zusammenstellen von derlei Anleitungen ab und sind auch gewöhnlich garnicht im Stande, etwas Aehnliches zu thun, während wieder Leute von der Feder gemeiniglich von den Handwerken geradezu nichts verstehen. Ein solcher Verfasser trägt daher in sein Buch hauptsächlich einige allgemeine Bemerkungen und Beobachtungen hinein und füllt die Anleitung im Uebrigen mit den Beschreibungen der neuesten Erfindungen und Vervollkommnungen auf dem betreffenden Gebiete, die er verschiedenen Fachzeitschriften entnimmt, und ferner mit statistischen und historischen Daten aus. Mag nun ein solcher Compiler auch noch so gewissenhaft zu Werke gehen, so wird er doch nicht wissen, was für den Leser gerade von Wichtigkeit ist, und ausserdem wird er auch die Hauptsache, nämlich die Bedingungen des Erfolges bei der betreffenden Arbeit, nicht mittheilen können.

In dieser Hinsicht nun befand sich mein verstorbener College D. Djakonow in sehr günstigen Verhältnissen.

Er war sowohl gründlich academisch gebildet, als auch ein erfahrener und tüchtiger Glasbläser. Leider verhinderte ihn sein früher Tod an der Beendigung seines Werkes. In seinem Nachlasse fanden sich bloss zusammenhanglose Fragmente, welche von mir in diesem Buche verwerthet worden sind, und zwar ohne jegliche Abänderungen in der Fassung; der Anfang einer solchen von Djakonow stammenden Notiz ist durch ein Sternchen (\*), das Ende durch ein eingeklammertes [D] bezeichnet.

Was meine eigene Erfahrung in der Kunst des Glasblasens betrifft, so lässt dieselbe nur die Schwierigkeiten dieses Gewerbes um so mehr würdigen. Daher erbat ich mir die Mithilfe der tüchtigsten St. Petersburger Glasbläser, nämlich der Herren Franz und Oscar Müller, bei der Abfassung der vorliegenden Anleitung, welche Hilfe mir auch von den genannten Herren bereitwilligst geleistet wurde. Herr O. Müller führte in der Werkstätte seines Bruders in meiner Gegenwart alle diejenigen Arbeiten aus, über welche ich noch nicht genügend unterrichtet war; auch verdanke ich diesem Herrn die Einweihung in so manches Geheimniss dieser Kunst. Im Jahre 1875 nahm ich Unterricht im Glasblasen in Paris bei dem jetzt bereits verstorbenen Meister Hector Segui; dieser Umstand hat mir denn die Möglichkeit gegeben, nicht wenige, den Meisten unbekannte Handgriffe der französischen Glasbläser mitzuthemen.

Die Abbildungen sind grösstentheils nach der Natur gezeichnet und stellen die in Arbeit befindlichen Gegenstände im Durchschnitt dar, da man aus der äusseren Gestalt des durchsichtigen, glänzenden Glases selten auf die Form der inneren Höhlung schliessen kann. Die Abbildungen 9, 10 und 11, welche das Halten der Röhre

beim Bearbeiten in der Blasetischflamme erläutern sollen, sind nach Momentaufnahmen angefertigt, die von mir mit Hilfe eines Objectivs von sehr kurzer Brennweite gemacht worden sind, wobei sich der Apparat hinter der Schulter des Arbeitenden befand, damit die Abbildung die Stellung der Finger von demselben Standpunkte vorstelle, von welchem der Arbeiter dieselbe selbst sieht.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, nochmals meinen Dank den Herren F. und O. Müller, ohne deren gütige Mitwirkung mein Leitfaden viel an Werth verloren hätte, auszusprechen, wie auch Herrn E. Reinbot, welcher so freundlich war, die Abfassung des Lebensabrisses von D. Djakonow zu übernehmen. — Die Herausgabe des (russischen) Originals dieses Buches erfolgte auf Kosten der von der Physiko-Mathematischen Facultät der K. Universität St. Petersburg und dem Herrn W. Luginin assignirten Summen.

**Der Verf.**



## D. Djakonow's Necrolog.

---

Dimitri Iwanowitsch Djakonow stammte aus einer adligen Familie des Gouvernements Orel. Er wurde am 15. (27.) August 1853 in Orel geboren und in dem dortigen Gymnasium erzogen. Nach Absolvirung desselben trat er im Jahre 1871 in die naturhistorische Facultät der St. Petersburger Universität ein. Die ungünstigsten materiellen Verhältnisse zwangen Djakonow nach Absolvirung aller vier Curse die Universität zu verlassen, ohne die Schlussprüfung abzulegen; erst im Jahre 1881 war es ihm möglich, ein Diplom zu erlangen. Sowohl während der Studienzeit als auch nach dem Austritt aus der Universität hatte er, der bereits früh geheirathet hatte, mit den verschiedensten materiellen Widerwärtigkeiten einen harten Strauss auszufechten; dieser Kampf machte es ihm unmöglich, sich ganz der Sache zu widmen, welche er als sein Ziel ansah. Djakonow, welcher ein ausgezeichnete Metall-, Holz- und Glasarbeiter war, und ausserdem eine gründliche wissenschaftliche Vorbildung erhalten hatte, plante nämlich die Eröffnung einer Werkstatt zur Anfertigung von physischen Präcisionsinstrumenten; er begriff eben sehr gut, von welcher Wichtigkeit es wäre, wenn ein solches Institut von einem Manne geleitet würde, der nicht bloss ein geübter Handwerker, sondern auch theoretisch gebildet wäre. Die Eröffnung einer solchen Werkstätte erforderte

aber Mittel, über welche er nicht verfügte, und so musste denn D. Djakonow, in Erwartung eines Besseren, sich mit kleineren Arbeiten begnügen, die ihm indessen doch noch eine gewisse geistige Befriedigung verschafften. In dieser Zeit nämlich erfand er mehrere Abänderungen und Vervollkommnungen in der Construction wissenschaftlicher Apparate und beschäftigte sich ausserdem mit verschiedenen Untersuchungen. Er war damals als Bracker auf der Samsoniew'schen Metallfabrik angestellt. Nach Erlangung des Universitätsdiploms beginnt Djakonow's materielle Lage sich zu bessern, er erhält den Posten eines Assistenten im Privatlaboratorium W. Luginin's und beschäftigt sich hauptsächlich mit thermochemischen Arbeiten, ohne dabei seinen Lieblingsgedanken aufzugeben. Später übernimmt er die Verwaltung der physicalischen Station der K. Russischen Technischen Gesellschaft und untersucht im Auftrage W. Luginin's, welcher viel zur Errichtung genannter Station beigetragen hat, das Wärmeleitungsvermögen der russischen Kohle; das Resultat seiner im Verein mit A. Damskoi ausgeführten Untersuchungen findet sich in den Sitzungsberichten der Chemischen und Technischen Gesellschaften. Gleichzeitig beschäftigte er sich mit Glasblasearbeiten und begann mit den Vorarbeiten zu einem dieses Thema behandelnden Werk. Aus derselben Zeit datirt Djakonow's Abhandlung über das Aluminium, welchem Metall eine grosse Zukunft in technischer Hinsicht bevorstehen sollte. Bald darauf wurde er Laborant beim Professor D. Menddejeff und erhielt dann den Posten eines ersten Technikers bei der Gesellschaft für die Beleuchtung der Residenz. Djakonow's Verhältnisse bessern sich nun zusehends, und es bietet sich jetzt die Möglichkeit, im Verein mit dem Militäringenieur Kowanjko eine Werkstätte zur Anfertigung von Prä-

cisionsinstrumenten einzurichten. Das Etablissement wird eröffnet und es finden sich auch Auftraggeber für dasselbe; Djakonow theilt nun seine Zeit zwischen der Beaufsichtigung der Werkstatt, seinem Dienst und den Arbeiten am Werke über die Bearbeitung des Glases, welch' letztere er jetzt energisch betrieb. Aber das Glück war ihm nicht hold. Kaum hatte er sich einigermaßen aus den gedrückten Verhältnissen herausgearbeitet, so warf ihn auch schon ein schweres Unglück tief danieder. Im Laufe einer Woche verlor er seine beiden heissgeliebten Kinder. Djakonow, welcher sie im Verein mit seiner Frau während ihrer Krankheit pflegte, wurde selbst vom Scharlach angesteckt, und dieses unglückliche Ereigniss legte den Keim zur Krankheit, welche ihn in der Blüthe seiner Jahre und in dem Augenblicke, da sein jahrelang gehegter Wunsch endlich in Erfüllung gehen sollte, in's Grab senkte. Am 16. (28.) Oct. 1888 starb er plötzlich am Herzschlage, mit Hinterlassung einer vom Kummer danieder gebeugten, mittellosen Frau. Er hinterliess Niemanden, der das von D. Djakonow begonnene, unstreitig nützliche Werk hätte fortführen können.

---



## Verzeichniss

der im Journal der Russischen Physiko-Chemischen Gesellschaft veröffentlichten Abhandlungen D. Djakonow's.

---

**Ein Trocken-Apparat für Gase.** B. VIII, 1881, (1) 4. Abt. Chemie (X).

**Bestimmung der specifischen und latenten Verdampfungswärme des Propyl-, Amyl- und Dimethyläthylcarbinolalkohols.** B. XIV, 1882, (1) 2. Abt. X.

**Ueber eine neue Modification der Construction des Hebe-Barometers und das Füllen desselben.** B. XIV, 1882, (1) 476. Abt.  $\Phi$ . Journ. de Phys. S. II, III, 27.

**Geissler'sche Röhren zum Beleuchten von Thermometern.** B. XIV 1882, (1) 274. Abt.  $\Phi$ .

**Das Minimum der Spannkraft eines Gases im Barometer.** B. XIV, 1882, (1) 390, Abt.  $\Phi$ .

**Ueber den tropfbaren Zustand von Flüssigkeiten und geschmolzenen Körpern.** B. XIV, 1882 (1) 582, Abt.  $\Phi$ .

**Ueber eine neue Methode zur Bestimmung der Verbrennungswärme organischer Körper.** B. XVII, 1885, (1) 283, Abt. X.

**Ueber die Möglichkeit der Anwendung eines Stereoskops zwecks Erlangung d. Durchschnittstypus zweier Personen.** B. XVII, 1885, (1) 78, Abt.  $\Phi$ .

**Ein neues Ocularmicrometer.** B. XVIII, 1886. (1) 120, Abt.  $\Phi$ . Journ. de Phys. S. II, VII, 230.

---

# Inhalts-Verzeichniss.

	Seite
<b>Vorwort</b> . . . . .	III
<b>Lebensabriss D. Djakonows</b> . . . . .	VII
<b>Einleitung.</b>	
Der physicalische Process des Glasformens und die Kräfte, welche dabei mitwirken (Oberflächenspannung, hydrostatischer Druck der Luft, Schwerkraft) . . . . .	1
In welchem Mafse das Erlernen der Glasblasekunst für den Experimentirenden nothwendig ist; wie man die Kunst erlernen soll . . . . .	4
<b>Die Instrumente des Glasbläfers.</b>	
Die Blaselampe; Oxydations- und Reductionsflamme; die breite Flamme und die Spitzflamme. Die Oel-Blaselampe und die Gasbrenner . . . . .	6
Ein Gemenge von Luft und Benzindämpfen als Ersatzmittel des Leuchtgases . . . . .	9
Der einfache Gasbrenner der französischen Glasbläser; der Wisneggbrenner; Hopkins' Verbesserung desselben; der neue Brenner des Verfassers . . . . .	11
Der Blasetisch. Blasebälge mit constantem Druck und System Enfer; das hydraulische Gebläse . . . . .	17
<b>Das Material zu den Glasblasearbeiten.</b>	
Die Herstellung der Röhren auf den Glashütten; durch die Fabrikationsmethode bedingte Eigenthümlichkeiten derselben . . . . .	25
Die verschiedenen Röhrensorten: dünnwandige (Blase-) und dickwandige (Biege-) Röhren, Thermometer- und Wasserstanderröhren . . . . .	27
Die verschiedenen Glassorten: Natron- und Bleiglas, schwer schmelzbares (Kali-) und jenaisches und französisches Normalglas . . . . .	28
Das Entglasen des Glases. Die elastische Nachwirkung . .	29
Die Zersetzung der Oberfläche des Glases durch Wasser. F. Mylius' Versuche . . . . .	33

**Die verschiedenen Handgriffe bei der Arbeit.**

	Seite
1. Das Reinigen der Röhren . . . . .	35
2. Das Zerschneiden der Röhren; der Gebrauch des Messers, des heissen Glasstabes, des glühenden Hakens, der Spitzflamme der Blaselampe, der Berzelius'schen Sprengköhle, der Feile und des Schleifrades. Die Bedingungen des Erfolges bei dieser Arbeit. Die Anwendung des Diamanten zum Schneiden von Röhren und Gefässen . . . . .	37
3. Das Abschmelzen und Auskehren der Enden von zerschnittenen Röhren; die Anwendung des Kupferschaufelchens, der Kohlenpyramide, des französischen Drahtaufreibers und der Pincette . . . . .	44
4. Einige allgemeine Bemerkungen über das Erwärmen und Abkühlen von Röhren . . . . .	47
5. Das Biegen dickwandiger und dünnwandiger Röhren . . . . .	49
6. Das Ausziehen und Zuschmelzen der Röhren. Das Halten einer in der Mitte erwärmten Röhre nach der deutschen und französischen Methode. Das Ausziehen mit und ohne Ansammlung von Glasmasse zwecks Verhinderung der Verdickung der Wände. Das Zuschmelzen von Probircylindern . . . . .	51
7. Das Aufblasen von Kugeln und Trichtern am Ende der Röhre; das Ansammeln von Glas; wie man einer einseitig aufgeblasenen Kugel eine regelmässige Gestalt giebt; das Oeffnen eines zugeschmolzenen Röhrenendes oder einer Kugel; das Abschmelzen der überflüssigen Ränder . . . . .	59
8. Kugeln in der Mitte der Röhre . . . . .	62
9. Das Zusammenblasen von Röhren; weshalb eine aus verschiedenen Glassorten zusammengestellte Löthung beim Erkalten zerspringt; das Zusammenschmelzen mit und ohne Aufblasung. Das allmähliche Zusammenlöthen (für Anfänger) . . . . .	64
10. Das seitliche Anlöthen einer Röhre an eine andere . . . . .	67
11. Doppelte Löthungen (zwei verschiedene Methoden) . . . . .	71
12. Das Einlöthen von Platindrähten; die verschiedenen Handgriffe und die Bedingungen des Erfolges . . . . .	73
18. Arbeiten aus Glasstäben. C. V. Boys' Quarzfäden . . . . .	75

**Die Anfertigung ganzer Apparate; einige Hilfsarbeiten.**

	Seite
Allgemeine Regel für Glasblasearbeiten . . . . .	78
Einfache Zerstäuber . . . . .	79
Pulverisatoren mit einer Vorrichtung zum Herausschleudern der Flüssigkeit . . . . .	80
Kugeln zur Bestimmung der Dichtigkeit von Dämpfen nach J. B. Dumas' Methode . . . . .	81

### XIII

	Seite
Geissler'sche Röhren. Das Einlöthen von Aluminiumelectroden. Das Biegen von Spiralen . . . . .	82
Apparate zur Mafsanalyse. Theilungen auf Glas; das Aetzen des Glases; wie man Apparate in Theile von gleichem Volumen theilt . . . . .	84
Geissler'sche Schliffe. Das Schleifen des Glases; das Bohren von Glas . . . . .	90
Die Anfertigung von Wasserwaagen; H. Brauer's Arbeits- methode . . . . .	96
 <b>Die Anfertigung und Justirung von Thermometern.</b>	
Das Reinigen des Quecksilbers und Färben des Weingeistes	103
Die verschiedenen Thermometerarten. Die Herstellung der gewöhnlichen Thermometer . . . . .	105
Wie man eine zu einer fertigen Scala passende Röhre her- stellt . . . . .	110
Präcisionsthermometer. Die Handgriffe der französischen Glasbläser bei der Anfertigung von Thermometern mit Theilungen auf der Röhre . . . . .	111
Die Handgriffe der deutschen Thermometermacher bei der Anfertigung von Einschlussthermometern . . . . .	116
Medicinische Thermometer und stickstoffhaltige Thermometer für hohe Temperaturen . . . . .	124
Die Justir- und Calibrirmethoden des Internationalen Bureaus der Mafse und Gewichte . . . . .	126





## Einleitung.

---

Das eigentliche Instrument des Glasbläfers ist die kegelförmige Flamme der Löthlampe; nur in wenigen Fällen bearbeitet er das erweichte Glas direct mit einem Kupferstäbchen oder Kohlenstücke. Trotzdem kann man bei Anwendung dieser einfachen Instrumente aus Glasröhren die verschiedensten und complicirtesten Formen erhalten, hauptsächlich dank der sogenannten „Oberflächenspannung“ des erweichten, halbflüssigen Glases, welche Eigenschaft von der Cohäsion der Molecüle abhängt. Wenn man nämlich eine am Ende einer Röhre befindliche Glaskugel gleichmässig bis zum Weichwerden erhitzt, so fängt ihr Durchmesser sich zu verringern an, während die Wände an Dicke zunehmen, da die Oberflächenspannung stets bestrebt ist, die freie Oberfläche der betreffenden Flüssigkeit auf ihr Minimum zu reduciren. Auf die Kugel wirkt jedoch gleichzeitig die Schwerkraft, welche jedes einzelne Molecül nach unten zieht; die Kugel müsste also allmählich die Gestalt verändern. Wenn es sich um die Bearbeitung auf dem Blasetische handelt, so darf man Glas niemals so stark erwärmen, dass dasselbe vollkommen flüssig wird; bei einer zähen Flüssigkeit aber ist längere Zeit erforderlich, damit die Gravitation die einzelnen Theilchen in Bewegung setze. Dreht man die mit einer Kugel versehene Röhre genügend schnell und gleichmässig um ihre geometrische Axe, so kann man eine Biegung nach einer Seite hin stets durch ein Biegen in entgegengesetzter Richtung corrigiren. Auf dieselbe Art lässt sich auch der in Arbeit befindliche Gegenstand gleichmässig erhitzen. Unter solchen Umständen kann man eine Kugel

längere Zeit so gleichmässig erwärmen, als ob eine Wirkung der Schwerkraft nicht vorhanden wäre. Das Endresultat einer solchen Erwärmung ist ein compacter Tropfen geschmolzenen Glases. Wenn man jedoch die Bildung eines solchen nicht abwartet, sondern Luft in die Röhre einbläst, d. h. die Spannung der in der Kugel enthaltenen Luft vergrössert, so wird der innere Druck stärker als die Oberflächenspannung wirken, was zur Folge hat, dass der Durchmesser der Kugel sich vergrössert. Natürlich darf man während des Aufblasens nicht eher mit dem Drehen aufhören, als bis das Glas vollständig erstarrt ist.

Wenn man einen kleinen kreisförmigen Theil der Kugeloberfläche bis zum Weichwerden erwärmt, so kann man die betreffende Stelle veranlassen, eine ebene Gestalt anzunehmen; besitzt der erweichte Theil einen complicirteren Umriss, so erhält man auch eine weit complicirtere Fläche. In diesem Falle ist nämlich das erweichte Glashäutchen bestrebt, die geringste Oberfläche einzunehmen, wie dieses bei Plateau's Versuchen mit Flüssigkeits-Häutchen der Fall ist. Daher kann, wenn man einen Theil einer Röhre von allen Seiten gleichmässig erwärmt, eine Verringerung des äusseren und inneren Durchmessers, ja ein völliges Verschwinden des Lumen erzielt werden. Um dieses zu bewerkstelligen, muss man die Röhre an beiden Enden halten und dieselbe fortwährend drehen, um die Wirkung der Schwerkraft auf die erweichten Theile zu paralysiren. Wenn man hierbei die Röhre in der Richtung der Axe auszieht, so wird sie sich an der erweichten Stelle ausstrecken, Diameter sowie Wandstärke werden abnehmen, während ein Gegeneinanderdrücken der beiden Enden an der nämlichen Stelle eine wulstartige Verdickung und eine Ansammlung von Glasmasse entstehen lässt. Augenscheinlich kann man die Röhre, wenn man sie an ihren beiden Enden hält, biegen; zu diesem Zweck braucht man die Röhre weniger zu erweichen, als dieses die eben besprochenen Operationen verlangten.

Endlich können zwei erweichte Glasmassen sich zu einer vereinigen, wenn man dieselben einander berühren lässt; dieser Vorgang wird das ‚Zusammenschmelzen‘ oder ‚Zusammenlöthen‘ genannt. — Das sind, im Grunde genommen,

alle diejenigen Handgriffe, mit deren Hilfe ein Glasbläser die erforderlichen Formen herstellen muss. Je einfacher die Instrumente, desto schwerer fällt es, sich den richtigen Gebrauch derselben vollkommen anzueignen. Dieses lässt sich wie von jedem Handwerk, so auch in jeder Hinsicht von der Glasblasekunst behaupten. Um eine in der Mitte erweichte Röhre gut regieren zu können, genügt es noch nicht, wenn man versteht, dieselbe in der Flamme fortwährend um ihre Axe zu drehen, ohne den erweichten Theil zu überdrehen oder zu biegen, man muss auch im Stande sein, die Röhre zwecks Hineinblasens von Luft mit dem einen Ende zum Munde zu führen, ohne ein Ausziehen oder Deformiren derselben zu bewirken. Nicht ein jeder kann seine Hände soweit beherrschen; die Uebung allein „macht's eben nicht“, und man kann wohl sagen, dass gute Glasbläser ebenso wie Dichter nicht „werden“, sondern bereits als Glasbläser resp. Dichter „geboren werden“. — Die Schwierigkeiten bei der Bearbeitung des Glases werden noch dadurch vergrößert, dass man die fertige Arbeit anlassen (ausglühen), d. h. alle Theile derselben so erwärmen, dass keine schroffen Übergänge von heissen Stellen zu kalten nachbleiben, und dann die Arbeit allmählich erkalten lassen muss. Ohne solche Vorsichtsmaassregeln zerspringt die Arbeit gewöhnlich, wenn sie Löthstellen oder verdickte Theile enthält. Physicalisch lässt sich dieser Vorgang etwa, wie folgt, erklären. Das Glas dehnt sich beim Erwärmen aus und zieht sich beim Erkalten zusammen, ist ausserdem ein schlechter Wärmeleiter und besitzt überdies noch die sogenannte elastische Nachwirkung, eine Neigung, immer mehr und mehr, aber in unbedeutendem Grade der Wirkung einer mechanischen Kraft nachzugeben, welche die Form desselben bereits erheblich verändert hat. Wenn eine bis zum Weichwerden erhitzte Stelle des Glases erkaltet, so zieht dieselbe sich zusammen, und pflanzt sich die dadurch entstehende Spannung allmählich auf alle die Theile fort, welche noch gar nicht bis zum Weichwerden erhitzt worden sind, wodurch dann eine der Festigkeit des Ganzen gefahrdrohende Spannung entsteht. Geht dagegen der Erkaltungsprocess langsam vor sich, besonders wenn der ganze Gegenstand erwärmt worden ist, so haben die Glas-



partikelchen Zeit genug, den auftretenden Spannungen nachzugeben, und wird nach völligem Erkalten keine bedeutende Spannung vorhanden sein. Um ein Zerspringen des Glases durchaus zu verhüten, muss man dasselbe im Laufe einiger Stunden und sogar Tage in einem besonderen Ofen allmählich abkühlen, wie dieses auf den Fabriken geschieht, auf welchen optisches Glas hergestellt wird. Durch die elastische Nachwirkung lässt sich auch erklären, woher schlecht gekühltes Glas einige Stunden oder Tage nach der Fabrikation von selbst platzt.

In der Laboratorium-Praxis kommt es sehr oft vor, dass man, abgesehen von complicirteren Apparaten, die auf dem Blasetische hergestellt werden können, auch eine Menge weit einfacherer Verrichtungen vorzunehmen hat. Bald muss man eine Röhre von bestimmten Dimensionen biegen oder ausziehen, bald handelt es sich um die Anfertigung einer Pipette oder eines kleinen Trichters für Quecksilber. Wegen solcher Kleinigkeiten die Hilfe eines Meisters in Anspruch zu nehmen, ist nicht gut möglich; der Weg dahin und zurück, das Erklären und endlich die Ausführung erfordern viel zu viel Zeit. Daher muss ein Jeder, welcher Chemie, Physik oder eine andere Experimentalwissenschaft practisch treibt, durchaus das Bearbeiten des Glases kennen, wobei er sich ja bloss mit den leichteren Arbeiten vertraut zu machen braucht. Das Glasblasen gründlich zu erlernen, kann man bloss denjenigen rathen, welche Gefallen an der Kunst finden und die Absicht haben, sich beständig damit zu beschäftigen, da man, wenn man einige Monate lang nicht gearbeitet hat, sehr leicht aus der Uebung kommt.

Selbst einem erfahrenen Liebhaber gelingt es selten, eine schwerere Arbeit so accurat auszuführen, wie dieses ein Glasbläser von Profession thut, der ja tagtäglich mit ähnlichen Arbeiten beschäftigt ist. Ein Amateur erhält statt der kugelförmigen Theile mehr oder weniger nicht runde Gebilde, die an ein Gesicht mit einer geschwollenen Backe erinnern. Die Ursache hiervon ist hauptsächlich das ungleichmässige Erwärmen, welches wiederum eine Folge des ungleichmässigen Drehens des zu erwärmenden Gegenstandes

in der Flamme ist. Der stärker erhitzte Theil verdickt sich mehr, in Folge Ansammlung von Glasmasse, und bläst sich auch beim Ausblasen stärker auf. Ausserdem erhält ein Laie gewöhnlich verschwommene Uebergänge von cylindrischen zu aufgeblasenen Theilen, da er während des Erwärmens die Röhre in der Flamme ein wenig bald in dieser, bald in jener Richtung verschiebt, was zur Folge hat, dass die Uebergänge von den stärker erweichten zu den minder weichen Stellen einen viel zu grossen Raum längs der Röhre einnehmen.

Um im Lernen grössere Fortschritte zu machen, muss man sich bei jeder Arbeit die grösste Mühe geben; wenn auch das Resultat trotz alledem kein brillantes ist, so dient die Arbeit zur Vermehrung der Uebung. Nachlässig und schnell soll man bloss dann arbeiten, wenn man das Glasblasen bereits genügend versteht und ausserdem die Umstände ein solches Arbeiten erfordern. Vor allem muss man sich im gleichmässigen Drehen der Röhre üben. Zu diesem Zweck kann man dem Beispiele des amerikanischen Chemikers Adams folgen, der Fingerymnastik getrieben hat und dazu einen Bleistift so mit der Hand zu drehen versuchte, wie man dieses mit einer Röhre in der Blasetischflamme thun soll, und zwar dieses während der Erholungspausen, Gespräche u. dergl. m. that. ✓ Ausserdem soll man darauf achten, dass die Länge der Röhre, durch welche Luft geblasen wird, der Entfernung der deutlichen Sehweite ungefähr nahe komme. Anfänger sind nur zu sehr geneigt, mit allzu kurzen Röhren zu arbeiten; in diesem Falle sieht man aber beim Hineinblasen der Luft den zu bearbeitenden Theil nicht deutlich genug und kann aus diesem Grunde nicht ganz sicher arbeiten. — Die übrigen Handgriffe sollen bei der Beschreibung der einzelnen Arbeiten besprochen werden.

Im Allgemeinen wird unser Buch hauptsächlich Auto-didacten-Liebhabern von Experimenten willkommen sein, daher ist denn auch die ganze Ausführung den Bedürfnissen solcher angepasst und enthält dieses Werk viele Seiten, welche denjenigen, die einen erfahrenen Glasbläser haben arbeiten sehen, durchaus unnütz erscheinen werden. Wir wollen uns indessen bemühen, lange und langweilige Be-

schreibungen durch gute Abbildungen zu ersetzen. Im Uebrigen soll unser Augenmerk darauf gerichtet sein, dass gerade das Nothwendige berücksichtigt werde, wobei nicht bloss die einzelnen Handgriffe, sondern auch die Bedingungen des Erfolges bei den betreffenden Arbeiten besprochen werden sollen.

## Die Instrumente des Glasbläfers.

Die Blaselampe ist bereits seit recht langer Zeit bekannt; dieselbe wurde von Goldarbeitern sowohl zum Zusammenlöthen von kleineren Gegenständen, als auch zum Aufschmelzen von Email gebraucht. In ihrer einfachsten Form stellt genannte Lampe ein flaches, mit Oel, Fett oder irgend einer flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindung gefülltes Gefäss dar, in welches ein dicker Docht getaucht ist, der an einer Seite über den Rand hervorragt. Eine solche Lampe gibt, wenn angesteckt, eine grosse, rufsende Flamme; man bläst jedoch durch eine dünne Röhre, die ungefähr um  $45^\circ$  nach oben geneigt ist, mittelst des Blasebalges einen starken Luftstrom in die Flamme. Befindet sich die Röhre in der Flamme, so kann man durch Reguliren der Stärke des Luftstromes, der Lage des Röhrenendes in der Flamme und der Grösse der letzteren einen ruhigen, durchsichtigen, schwach leuchtenden und nicht rufsenden Flammenkegel erhalten, welcher durch den Luftstrom vom Arbeitenden wegelenkt wird. Der innere Kern dieser Flamme ist verhältnissmässig kalt und enthält Schichten von Luft und brennbaren Gasen; der blaue, den Kern umfassende Saum ist bedeutend heisser. In diesem geht der Verbrennungsprocess bereits vollständiger vor sich, doch sind die brennbaren Gase im Ueberschuss vorhanden und nennt man daher diesen Theil die „Reductionsflamme“. Am Ende des blauen Kegels ist die Temperatur am höchsten. An dieser Stelle kann man selbst einen dünnen Platindraht schmelzen, wenn man solchen längs der Flamme hält. Die äusserste, schwach leuchtende Hülle

dagegen ist bereits kälter. Hier herrscht der Sauerstoff der Luft vor den brennenden Gasen vor; man bezeichnet diesen Theil des Kegels als „Oxydationsflamme“. Diese Eigenschaften der Flamme, welche dem Chemiker recht gut bekannt sind, verdienen wohl, näher besprochen zu werden, da die Unkenntniss derselben bei in der Chemie nicht bewanderten Glasbläsern nur zu oft einen Stein des Anstosses bildet. Wir werden weiter unten sehen, dass eine sehr gute Sorte französischen Glases bloss in der Oxydationsflamme erhitzt werden darf, da solches Glas in der Reductionsflamme schwarz wird. Es ist kaum glaublich, dass viele tüchtige deutsche Glasbläser mit dieser Glassorte nicht umzugehen verstehen, da sie die Ursache dieses Schwarzwerdens nicht kennen <sup>1)</sup>.

Um die Eigenschaften der Flamme der Blaselampe zu untersuchen, kann man ein Stück Kupferdraht der Reihe nach in die verschiedenen Teile derselben einführen. In der Oxydationsflamme, woselbst nur glühende Gase und ein Überschuss an Luft vorhanden ist, wird der Draht glühend, fängt an zu brennen, verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft und bedeckt sich mit einer Schlackenschicht, welche in glühendem Zustande roth leuchtet, nach dem Erkalten aber schwarz wird. Die Flamme erhält während dieses Processes eine grüne Färbung. Wenn man dagegen das glühende Drahtstück der Mitte der Flamme nähert, so verschwindet der rothe Schlackenüberzug, es beginnt der Draht weiss zu glänzen und gleichzeitig schmilzt das Kupfer. Die in diesem Theil enthaltenen glühenden Gase entziehen der Schlacke den Sauerstoff und „reduciren“, wie der technische Ausdruck für diesen Vorgang lautet, das Metall. Ganz dasselbe geschieht auch mit Glas, welches Bleioxyd enthält. Alle Bestandtheile des Glases sind sauerstoffhaltig und können daher in der Oxydationsflamme nicht mehr Sauerstoff absorbiren. Das

<sup>1)</sup> Geissler in Berlin (ein Bruder des berühmten Heinrich Geissler) sagte mir einst, als er in St. Petersburg nach unserem Laboratorium kam: „Kein Deutscher kann mit diesem verfluchten französischen Glas zurecht kommen“ und bewies in der That seine Behauptung glänzend, obgleich ich mir die grösste Mühe gab, ihm zu erklären und zu zeigen, um was es sich in diesem Falle handele.

Bleioxyd gibt aber einen Theil seines Sauerstoffes an die glühenden Gase der Reductionsflamme ab, und aus diesem Grunde verändert sich Glas, welches dieses Oxyd enthält, an der Oberfläche; dasselbe wird nach dem Erkalten nicht nur schwarz, sondern verliert auch einen Theil seiner Eigenschaften, so dass es kaum noch als Glas angesehen werden kann. Wenn man dagegen Bleiglas in die Oxydationsflamme einführt, so wird dasselbe roth und weich, bleibt aber durchsichtig. Man braucht dasselbe dann bloss der Flammenbasis ein wenig zu nähern, ohne das Glas in die Spitze des blauen Saumes zu stecken, und man erhält an der heissesten Stelle des Glases einen undurchsichtigen, noch intensiver rothen Flecken, welcher verschwindet, wenn man das Glas wieder in den oxydirenden Theil der Flamme bringt und im Erhitzen fortfährt. Auf diese Art kann man schwarze Flecken auf einer fertigen Arbeit aus Bleiglas von neuem oxydiren und dadurch entfernen, vorausgesetzt, dass dieselben nicht allzu stark sind. Es mag hier gleich erwähnt werden, dass die Temperatur des oxydirenden Theiles der Flamme bedeutend unter derjenigen der Spitze des inneren Kegels ist; die Oxydationsflamme reicht jedoch zum Erweichen des leicht schmelzbaren Bleiglases vollkommen aus. Gewöhnliches Glas dagegen, welches keine sich leicht reducirenden Bestandtheile enthält, erhitzt man in der weit heisseren Reductionsflamme. Dieser Umstand erklärt theilweise, woher selbst erfahrene Arbeiter, die an gewöhnliches Glas gewöhnt sind, trotz aller mündlichen Erklärungen mit Bleiglas nicht umzugehen verstehen.

Eine conische, ruhige Flamme ist jedoch für viele Arbeiten zu klein. Wenn man die Oeffnung der für die Luftzufuhr bestimmten Röhre etwas grösser werden lässt und dieselbe direct vor der Flamme, aber ein wenig ausserhalb derselben, aufstellt, so kann man eine breite Flamme erhalten, deren Umriss pinsel- oder besenförmig ist. Die äussere, kaum leuchtende Hülle dieser Flamme besitzt oxydirende, der mittlere Theil dagegen reducirende Eigenschaften.

Die Blaselampe in der eben besprochenen Form ist jedoch ein unbequemes und beim Gebrauch unangenehmes Instrument. Die Flamme ruft so stark und verbreitet einen

dermaßen unangenehmen Geruch, besonders während des Regulirens oder, wenn man das Blasen einstellt, dass man über der Lampe wie über einem Küchenherde einen besonderen Mantel mit einer Zugvorrichtung anbringen muss. Eine solche Blase-lampe benutzen jetzt wohl nur noch die Glasbläser in den Dörfern um Moskau, wo man das Glasblasen als Hausindustrie betreibt. In Thüringen findet man diese Lampe wohl auch, das Oel wird aber dort durch Paraffin ersetzt. ✓ Eine Vervollkommnung dieses primitiven Instruments repräsentirt die geschlossene Lampe mit dickem Docht, der mit Hilfe einer Zahnstange gehoben und gesenkt werden kann; man füllt diese Lampe mit einer Mischung von Weingeist und Terpen-tinöl, welche Mischung früher zu Beleuchtungszwecken verwendet wurde. Dieses Gemenge gibt eine höhere Tempe-ratur als Weingeist allein und verbreitet während der Arbeit keinen so unangenehmen Geruch wie Oel. Eine solche Lampe kann auch mit Petroleum gefüllt werden. Es ist nicht der Mühe werth, sich über die Construction solcher unpractischer und unbequemer Lampen auszulassen; unpractisch eben daher, weil bei Glasblasearbeiten das beste Heizmaterial unstreitig Leuchtgas ist, welches selbst in den thüringer Glasarbeiter-dörfern gebraucht wird. \* Am besten ist es, wenn man über eine Steinkohlengasleitung verfügt. Ist dieses aber nicht der Fall, so kann man mit gleichem Erfolge carbonisirte Luft verwenden. Zur Bereitung solcher nimmt man eine drei-halsige Flasche, welche etwa 2—4 Liter fasst, und stellt in den einen Hals eine Röhre mit 1 cm Durchmesser so ein, dass dieselbe bis an den Boden reicht, während in den an-dern Hals eine Röhre von gleichem Durchmesser gesteckt wird, die aber bloss durch den Pfropf geht und in die Flasche nicht hineinragt; der dritte, mittlere Hals dient zum Hinzugießen von Benzin und muss durchaus fest verkorkt sein. Am besten ist ein solches Gefäss aus Messing, Zink oder Eisenblech, da eine Metallflasche weit stärker ist als eine solche aus Glas<sup>1)</sup>. Das Gefäss füllt man mit feinen und trockenen Holzhobelspänen und giesst dann  $\frac{2}{3}$  desselben mit

<sup>1)</sup> Wenn man nicht tagelang arbeitet, so genügt auch eine starke Champagnerflasche.

Benzin oder irgend einem anderen, sich leicht verflüchtigenden Naphthaprodukt, dessen Siedepunkt zwischen 50—130° C. liegt, voll.

Der durch den Blasebalg in die erste Röhre getriebene Luftstrom wird in dem Gefäß mit Benzindämpfen gesättigt und brennt, wenn derselbe durch Gummischläuche in einen Bunsenbrenner oder eine Blaselampe geleitet wird, recht gut, so dass man hierin einen hinreichenden Ersatz für Leuchtgas hat. Bei Anwendung eines Blasebrenners dient derselbe Blasebalg sowohl zur Bildung des Heizmaterials, als auch zum Anfachen der Flamme. Zu diesem Zweck zieht man den von demselben führenden Schlauch über das eine Ende

einer gegabelten Glas- oder Metallröhre, von der ein Kautschukrohr zum Hahn des Brenners und ein anderes zum Gefässe mit Benzin führt. Die Hähne des Blasebrenners machen ein Reguliren der beiden Luftströme nach Wunsch möglich.

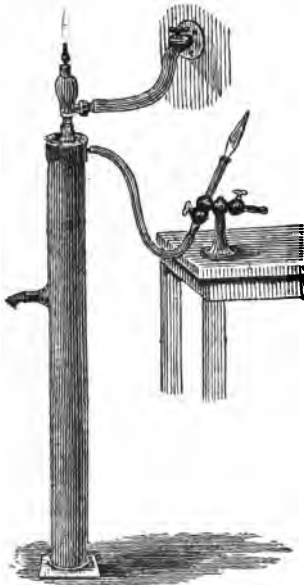


Abb. 1.

In den Häusern, in welchen eine Wasserleitung vorhanden ist, kann man mit Hilfe folgender Vorrichtung einen constanten Luftstrom erhalten (vergl. Abb. 1). Ein hohes cylindrisches Gefäß wird oben mit einer Luftsaugepumpe versehen, die durch einen Wasserstrom in Bewegung gesetzt werden kann; die Röhre, durch welche die Pumpe das Gemenge von Wasser und Luft treibt, reicht nicht bis zum Boden des Cylinders, sondern hört bei  $\frac{1}{3}$  der Höhe desselben (von unten gerechnet) auf; eine andere Röhre geht bis an den Boden und tritt bei  $\frac{2}{3}$  der Höhe des Gefässes an der Seite desselben aus; am oberen Deckel des Cylinders ist ein kleines Röhren angebracht, über das man einen Gummischlauch zieht,

welcher zum Hineinblasen von Luft in den Brenner dient. Der Apparat wirkt folgendermassen. Die Pumpe wird mit dem Wasserleitungskrahn verbunden, und man lässt durch dieselbe einen Strom Wasser hindurchfliessen, der aus dem Zimmer Luft in den Cylinder einsaugt. In letzterem scheidet sich die Luft vom Wasser, steigt in demselben nach oben und tritt aus dem Cylinder durch den zum Brenner führenden Schlauch unter dem Drucke des im Gefässe steigenden Wassers, dessen Ueberschuss durch ein seitlich angebrachtes Rohr abfliesst, aus [D].

Carbonisirte Luft kann jedoch bei Gelegenheit leicht explodiren; eine Explosion eines Benzingebläses ist bei uns in St. Petersburg bereits vorgekommen. Da nämlich carbonisirte Luft verschiedene brennbare Gase und Sauerstoff enthält, so kann dieselbe auch ohne Zutritt von Luft mit grösserer oder geringerer Lebhaftigkeit je nach der Zusammensetzung des Gemisches brennen; innerhalb der Schläuche und Röhren brennt die carbonisirte Luft bloss desshalb nicht, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Brennens in der Luft geringer ist, als die Ausflussgeschwindigkeit aus den engen Oeffnungen des Brenners. Daher ist es wohl zu empfehlen, dass man zwischen Brenner und Flasche eine breitere Röhre einstellt, welche durch ein oder mehrere Drahtnetze, die den Eintritt der Flamme in das Gasgemenge (ganz wie bei der Davy'schen Lampe) verhindern sollen, abgetheilt wird. Weit gefährlicher ist es, wenn man mit grösseren Benzinmengen zu thun hat. Man muss sich sehr hüten, Benzin in einem Zimmer umzugiessen, in dem ein Licht oder eine Lampe brennt oder der Ofen geheizt wird. Die Benzindämpfe sind schwerer als die Luft, senken sich daher und entzündend, indem dieselben selbst zu brennen anfangen, den ganzen Vorrath, wenn der brennende Körper niedriger steht, als der offene Hals des Gefässes, selbst wenn letzteres recht weit von ersterem aufgestellt ist.

Der allereinfachste Blasebrenner wird von den Pariser Glasbläsern angewendet, da dieser eine gute Oxydationsflamme gibt. Einen solchen Brenner anzufertigen ist weit einfacher, als einen anderen; daher will ich hier einen solchen Brenner in der Form beschreiben, in welcher der Pariser



Meister Hector Segui mir einen solchen übergeben hat (vergl. Abb. 2). Man nimmt das Kniestück *a* eines gewöhnlichen Gaswandarmes, ersetzt die zum Befestigen des Brenners dienende Schraube durch einen Ansatz *b*, über welchen ein Gummischlauch gezogen wird, schneidet die Röhre des ersten Gliedes *c* in der Höhe von 5 cm vom Knie ab und drückt dieselbe ein wenig zusammen, wie *c'*, der parallel der Scharnier-

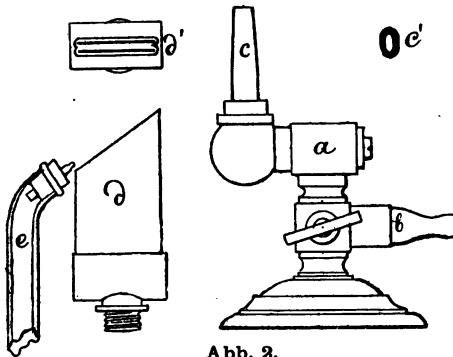


Abb. 2.

axe vorgenommene Durchschnitt, zeigt. Im Blasetisch bohrt man ein Loch aus und stellt in dasselbe mit Hilfe eines Pfropfes ein Glasrohr *e* von 15 mm Durchmesser ein, welchem man die auf der Abbildung dargestellte Form gibt. Das untere Ende des Rohres

wird mit dem Blasebälge verbunden, während man in das obere mit Hilfe von Pfropfen die Spitzen einstellt. Die dickste von diesen besteht aus einem Messingrohr von etwa 3 mm innerem Durchmesser, die zweite Spitze besitzt 2 mm und die dritte auf der Abbildung sichtbare Glasspitze 1 mm Durchmesser. Die erste Spitze benutzt man zum Erhalten der breiten Flamme; die zweite gibt sowohl diese als auch eine spitze Flamme, während die feinste Spitze ausschliesslich eine ruhige Spitzflamme gibt. Um eine besonders feine und lange Flamme zu erhalten, wie eine solche in einigen Ausnahmefällen erforderlich ist, schraubt man das gewöhnliche Rohr des Brenners aus und ersetzt dasselbe durch eine flache Doppelröhre (Abb. 2 *d* und *d'*).

Eine gute Flamme mit Hilfe dieses Brenners zu erhalten, erfordert bloss einige Uebung. Vor allem muss man den Brenner so aufstellen, dass die horizontale Drehungsaxe senkrecht zur Biegungsebene der Röhre *e* sei. Hierauf dreht man die bewegliche Röhre so, dass die Ebene der freien

Ränder derselben nahezu parallel der Richtung des eintretenden Luftstromes sei. Wenn der hintere Rand ein wenig mehr als der vordere hervorsteht, so wird die Luft, indem dieselbe an diese Kante stösst, den Austritt des Gases verhindern und dadurch ein Verlöschen der Flamme bewirken; besser ist es, wenn die vordere Kante kaum merklich hervorsteht als die hintere. Beim Anzünden des Gases muss man den Brenner mehr oder weniger weit von der Röhre abrücken und die Höhe der letzteren verändern, damit der Luftstrom die Ränder des Brenners fast berühre, bis man die erforderliche Flamme erhalten hat. Wenn die Gaszufuhr zu stark für die betreffende Spitze ist, so leuchten die Ränder der Flamme fort und werden durch den Luftstrom nicht mitgerissen. Durch Verringern der Zufuhr mit Hilfe des Hahnes des Brenners oder durch Verstärkung des Luftstromes kann man stets eine gute, durchsichtige Flamme von erforderlichen Dimensionen und Character erhalten.

\* Der gebräuchliche Blasebrenner ähnelt sehr dem (Daniell'schen) Hahn für Knallgas und unterscheidet sich von diesem bloss in der Grösse und äusseren Gestalt. Abbildung 3 gibt eine deutliche Vorstellung von der Construction dieses Brenners. Das Rohr *a* dient zur Zufuhr des Gases in die breite Röhre *b* und kann man die Leuchtgasmenge mit Hilfe des Hahnes *a'* reguliren. Auf die Röhre *b* setzt man ein zweites Rohr *cf*, welches zum Reguliren der Länge der Röhre *b* dient und sich auf letzterer frei nach oben und nach unten schieben lässt; am äusseren Ende ist *cf* ein wenig verengt. Durch das Rohr *dd*

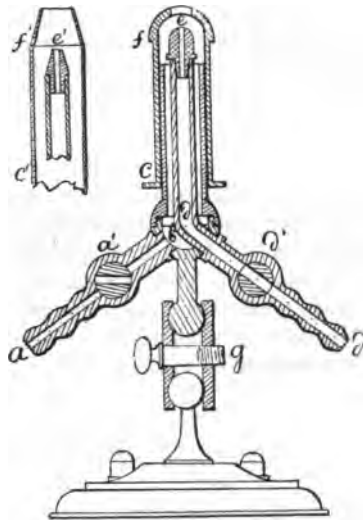


Abb. 3.

wird Luft in die Flamme hineingeblasen, wobei der Luftstrom mittels des Hahnes  $d'$  regulirt werden kann. Auf das offene Ende des Rohres  $dd$  setzt man, je nach Bedarf, Spitzen von verschiedener Grösse (Abb. 3  $e$ ). Der Fuss des Brenners ist mit einem Kugelscharnier versehen, welches es möglich macht, dem Brenner die verschiedensten Lagen zu geben.

Mit Hilfe eines guten Brenners muss man vor allem Flammen von den verschiedensten Arten erhalten können; zu diesem Zweck muss der Brenner regelrecht gemacht sein; nämlich: 1) muss das Rohr  $dd$  durchaus concentrisch in der Röhre  $b$  sein, 2) muss sich das Rohr  $cf$  frei auf der Röhre  $b$  schieben lassen und nicht etwa von selbst gleiten, 3) müssen die Hähne, welche zur Zufuhr von Gas ( $a'$ ) und Luft ( $d'$ ) dienen, breite Oeffnungen besitzen, zwecks bequemer Regulirung der Zufuhr.

Anmerkung. Wenn das Rohr  $dd$  nicht concentrisch in  $b$  ist, so kann man diesen Fehler gut machen, indem man auf  $dd$  eine Rosette aus Kupferblech setzt, die mit ihren Strahlen an die Wände der Röhre  $b$  stösst und auf diese Art die Stellung von  $dd$  sichert.

Die Dimensionen des Brenners sind annähernd die folgenden; der innere Durchmesser der Röhre  $b = 1,5$  cm, wobei das abgeschrägte, verengte Ende von  $cf$  wenigstens 1 cm Durchmesser besitzen muss. Die Oeffnungen der Spitze  $e$ , durch welche Luft in die Flamme geblasen wird, schwanken zwischen 0,05 und 0,2 cm. Zu einem jeden Brenner gehören mindestens drei Spitzen. Dieselben werden in das Rohr  $dd$  je nach Bedarf eingesetzt. Die am häufigsten zur Verwendung gelangende Spitze hat eine Oeffnung von 0,14 cm Durchmesser. Die besten unter den verkäuflichen Brennern sind, meiner Ansicht nach, diejenigen nach dem System Wisnegg, deren Construction eben besprochen worden ist<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Abbildung 3 stellt  $\frac{1}{2}$  der natürlichen Grösse eines Original-Wisneggbrenners dar, bei dem aber die Spitzen  $e$  und  $f$  kugelförmig gemacht sind (System Hopkins); die frühere Form derselben ist nebenbei abgebildet und mit  $c'$ ,  $f'$ ,  $e'$  bezeichnet. Die kugelförmige Gestalt der inneren Oberfläche  $f$  veranlasst den Gasstrom von allen Seiten eine annähernd senkrechte Richtung zum Luftstrom einzuhalten; dieses bewirkt ein vollkommeneres Mischen und erhält man daher eine weit stärkere Oxydationsflamme mit einer

Es ist recht gut, wenn man ausser einer Blaselampe auch noch einen gewöhnlichen Fischschwanz- oder Schmetterlingsbrenner hat, der eine breite, flache, rausende Flamme gibt, weil man mit Hilfe eines solchen sehr gut Glasröhren von nicht allzu bedeutenden Dimensionen regelrecht biegen kann, da derselbe das Erwärmen einer längeren Strecke möglich macht [D].

Wenn die stärkste Flamme eines Brenners nicht heiss genug für irgend eine Arbeit sein sollte, so kann der Flamme gegenüber ein grosses Stück Bimstein oder Holzkohle oder auch ein Ziegel aufgestellt werden, so dass der betreffende Gegenstand glühend wird und durch Ausstrahlen von Wärme den Wärmeverlust des in Arbeit befindlichen Objects verringert. Bei sehr grossen Arbeiten stellt man zwei Brenner einander gegenüber auf.

Sehr verbreitet ist bei uns noch der sogenannte „Bunsenbrenner“. Derselbe unterscheidet sich bloss in Bezug auf die mechanische Construction von dem eben besprochenen und liefert ebenfalls recht gute Resultate.

Bei vielen Arbeiten muss man zuerst mit einer kleinen Stichflamme arbeiten und dann wieder eine recht grosse Flamme anwenden. In solch' einem Falle müsste man eigentlich eine neue Spitze einstellen, da eine Verringerung der Luft- und Gaszufuhr noch keine gute Stichflamme entstehen lässt, wenn die Spitze dabei breit bleibt. Bei den existirenden Brennern kann man jedoch die Spitzen nicht schnell genug vertauschen, um ein Erkalten der Arbeit zu verhindern. Dieser Uebelstand hat mich veranlasst, einen besondern Brenner zu construiren, von welchem Abb. 4 den Durchschnitt in  $\frac{1}{3}$  der natürlichen Grösse zeigt. Der Brenner kann sich um ein (auf der Abbildung nicht sichtbares) Scharnier am Ende des Säulchens *l* drehen; Theile des Brenners, welche dieselbe Bestimmung haben, wie diejenigen des Wisneggbrenners (Abb. 3), sind mit den gleichen Buchstaben bezeichnet. Die Eigenthümlichkeit der Construction besteht

---

recht hohen Temperatur. Solche Spitzen sind von Hopkins für Brenner zu Drummond'schem Licht in dem „Scientific American“ 1883, XLVIII, 18 vorgeschlagen worden.

darin, dass die Spitze für die Luftzufuhr ein Ganzes bildet mit der Röhre  $eh$ , welche man, wenn man bei  $h$  anfasst, leicht herausziehen und durch eine andere Röhre  $h'$  oder  $h''$  ersetzen kann, die, wenn nicht im Gebrauche, in einer entsprechenden Rinne des Brennerfusses liegt und mittels der

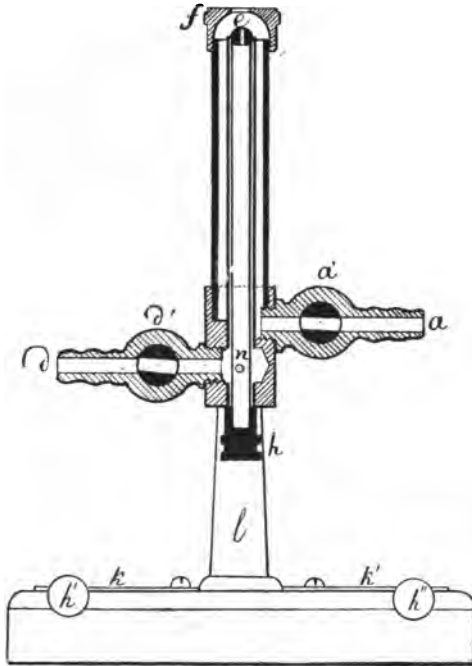


Abb. 4.

Feder  $kk'$  angedrückt wird. Die Luft gelangt durch den Hahn  $d'$  in eine Kammer, welche in der Basis des Brenners ausgebohrt ist, und von hier in die Röhre  $eh$  durch die Oeffnung  $n$ . Wenn man  $eh$  ein wenig auszieht, so kann man den Luftzutritt absperren und eine rufende Flamme erhalten, wie eine solche zum Anlassen des Glases erforderlich ist, ohne dabei die Hähne  $a'$  und  $d'$  zu drehen. Während des Vertauschens der Röhren erlischt die Flamme nicht, wenn

man den Hahn für die Luftzufuhr schliesst oder nur ein wenig öffnet, wie dieses eine kleine Stichflamme verlangt. Das erste Exemplar eines solchen Brenners lieferte während der Proben ausgezeichnete Resultate; es heisst aber abwarten und sich überzeugen, ob die Oberfläche der Röhre *eh* nicht etwa durch die Luft des Laboratoriums oxydirt und dadurch die freie Bewegung behindert wird; in diesem Falle kann allerdings von einem durch die neue Construction bedingten Vortheil nicht die Rede sein.<sup>1)</sup>

\* Der Blasetisch muss eine Holzplatte besitzen, und diese darf weder gestrichen, noch, wie man dieses häufig sieht, mit Zink beschlagen sein. Auf eine Metallplatte kann man nämlich heisses Glas nicht legen, da dasselbe durch die Berührung mit dem Metall zu schnell erkaltet und dann platzt. Ein gestrichenes Brett dagegen taugt daher nicht, weil die Farbe anbrennt und am heissen Glas sehr fest haften bleibt. Alle diese Uebelstände kann man beseitigen, wenn man als Tischplatte ein gehobeltes Brett nimmt. Die Grösse des Tisches kann etwa  $\frac{3}{4}$  m im Geviert betragen [D].

Die deutschen Glasbläser benutzen Tische von ca. 1 m im Quadrat, mit einem halbrunden Ausschnitt, bei dem der Durchmesser des vorderen Theiles ungefähr 50 cm beträgt; im allgemeinen ähnelt dieser Blasetisch dem Arbeitstische der Goldarbeiter. Auf die durch das Aussägen entstandenen Ecken stützt der Arbeiter die Ellbogen, was das Arbeiten beträchtlich erleichtert. Die Höhe des Tisches entspricht dem Wuchse des Arbeiters; wenn er auf seinem Platze sitzt, so muss die Platte bis zu seinem ausgestreckten Ellbogen reichen. Diese Höhe übertrifft ein wenig diejenige eines gewöhnlichen Tisches (75—85 cm). An den beiden hervortretenden Enden des Blasetisches bringt man herausziehbare Kasten für die Instrumente an.

\* Der Tisch muss stets frei von verschiedenen unnöthigen Sachen sein; man soll auf demselben bloss halten:

- 1) Ein Stativ für die Röhren und in Arbeit befindlichen Gegenstände.

<sup>1)</sup> Seitdem sind schon viele solche Brenner vom Universitäts-Mechaniker V. Franzenn gefertigt und in russischen Laboratorien im Gebrauch.

- 2) Einen kleinen Kasten für taugliche Röhrenstücke.
- 3) Noch einen Kasten für unnöthige Bruchstücke von Glas, die sich stets in genügender Menge ansammeln<sup>1)</sup> und
- 4) die bei der Arbeit unentbehrlichen Instrumente.

Statt eines besonderen Gestelles kann man auch in die Tischplatte Löcher von verschiedenem Durchmesser bohren und von unten ein dünnes Brettchen anschrauben, damit die Löcher einen Boden besitzen und man dieselben gut reinigen kann, zu welchem Zweck der Boden abgeschraubt werden muss. Ebenso kann man statt des Stativs ein mit grobem Sande oder feinem Schrot gefülltes Glas nehmen, in das man die zur Arbeit nothwendigen Röhren und die fertigen Gegenstände zum Abkühlen steckt [D]. Man kann auch recht gut auf den Tisch ein Holzprisma, dessen Grundriss ein gleichseitiges Dreieck ist, von 5 cm Höhe legen und die eine Kante desselben mit Einschnitten versehen. Auf diese Stütze kann man dann die in Arbeit befindlichen Röhren legen, indem man den erwärmten Theil balanciren lässt.

Der Blasetisch soll an einem halbdunklen Platze stehen, etwa vor einem Fensterpfeiler oder an einer Seitenwand des Zimmers, ziemlich weit ab vom Fenster, da durch eine zu starke Beleuchtung das Sehen des schwachleuchtenden Flammenendes und ein Beurtheilen der Gluthstärke des Glases behindert wird. Eine schwache Beleuchtung ist besonders nothwendig bei der Bearbeitung von Bleiglas in der Oxydationsflamme. \* Ganz gut ist es, wenn man vor der Flamme einen dunklen Lichtschirm aufstellt — die Theile der Flamme werden dann gut sichtbar sein [D]. Wenn man mit Leuchtgas arbeitet, so ist es gut, auf dem Tische drei Krähne zu haben: einen grösseren mit einer Oeffnung bis zu 1 qcm für den Blasebrenner, einen zweiten für einen gewöhnlichen zur Beleuchtung dienenden Brenner und endlich einen dritten, für einen Hilfsbrenner, welcher zum Erwärmen in einigen besonderen Fällen dient.

Es ist sehr wichtig, dass der Blasetisch nicht etwa im

<sup>1)</sup> Diesen Kasten kann man auch in der Nähe auf den Fussboden stellen; es ist gut, wenn man denselben von innen mit Zink beschlägt [D].

Zugwinde steht, da dieses sehr leicht ein Platzen der fertigen Arbeiten während des Abkühlens veranlassen kann.

Unter den Blasetisch stellt man gewöhnlich einen Blasebalg, welcher durch den Fuss des Arbeitenden in Bewegung gesetzt wird. Zu den gebräuchlichsten gehören die Bälge nach folgenden Systemen: dem deutschen — ein grosser Balg, der einen ziemlich constanten Druck, welcher höchstens demjenigen einer Wassersäule von 6 cm gleichkommt, liefert — und dem französischen System — ein kleiner cylindrischer Balg, bei welchem der Luftdruck sich beim Heben des Regulators merklich verändert und daher von der mehr oder weniger schnellen Bewegung der Füße des Arbeitenden abhängt. Bälge zu Orgelpfeifen, wie solche sich gewöhnlich in den physicalischen Cabinetten finden, sind für den Blasetisch auch tauglich; gewöhnlich muss man bloss das Gewicht des Regulators vergrössern.

Der deutsche Blasebalg mit constantem Druck ist von derselben Construction, wie die gewöhnlichen Schmiedebalge, besitzt aber weit kleinere Dimensionen. Das mittlere Brett wird zwischen den Füßen des Blasetisches befestigt, das obere ist durch ein Lederscharnier mit dem mittleren verbunden, und ebenso verhält es sich mit dem unteren Brett. Zum Beziehen der beweglichen Seitentheile ist gutes Juchtenleder wohl am tauglichsten. In dem mittleren Brett befindet sich eine Austrittsöffnung für die Luft und ein sich nach oben öffnendes Ventil; im unteren Brett ist eine ebensolche Klappe angebracht. Auf dem oberen Brett des Regulators liegt ein Gewicht, von dessen Grösse die Stärke des durch den Blasebalg ausgeübten Luftdruckes abhängt. Die Stärke des austretenden Stromes kann jedoch durch den am Brenner befindlichen Hahn verringert werden. An dem unteren Brett des Balges ist mittelst eines Scharniers eine hölzerne Stange, welche dieses Brett mit dem Trittbrett verbindet, das entweder direct an den Fussboden oder an das Querholz zwischen den Tischfüßen befestigt ist, so angebracht, dass diese Stange den Balg offen hält. Manchmal ist das obere Brett nicht mittelst eines Scharniers befestigt, sondern es verschiebt sich dasselbe parallel, mit Hilfe von besonderen Schienen oder auch dank dem Umstande, dass



das Gewicht hängt und das Brett daher, unter dem Einfluss des dasselbe hebenden Luftdruckes, sich in stabilem Gleichgewichte befindet. Die Ventile des Schmiedeblasebalges sind gewöhnlich mit Schaffell bekleidet, zwecks unmittelbarer Berührung. Bei den Blasebälgen sind dieselben gewöhnlich aus weichem Sämisch- oder Handschuhleder, auf dessen obere Seite ein Brett oder, noch besser, eine Reihe flacher Holzklötzchen von 1 cm Breite geleimt ist; ein Brett kann sich nämlich im Laufe der Zeit krümmen, was man von den Holzklötzchen nicht gerade behaupten kann. Rund um die Oeffnung des Blasebalges klebt man auf das Brett ebenfalls Handschuhleder, und zwar mit der linken Seite nach oben. Die Ventile, besonders das obere, dürfen auf keinen Fall Luft hindurchlassen. Ausser einem Verlust an Arbeit kann dieser Umstand auch eine Explosion des Blasebalges bewirken. Nehmen wir an, dass der Regulator unten angelangt ist, während das untere Brett sich gleichzeitig oben befindet; wenn man letzteres nun herablässt, so tritt die Luft theilweise durch das in demselben befindliche Ventil, theilweise aber auch durch das undichte Regulatorventil ein. Hierbei können die Gase der Flamme von dem Blasebalg aufgesogen werden und unter günstigen Umständen kann sich im Regulator ein explosives Gemenge bilden. Derlei Explosionen sind nicht allzu selten; gewöhnlich sind sie aber so schwach, dass, abgesehen vom Platzen des Leders, kaum ein materieller Schaden verursacht wird.

Die Construction des französischen Blasebalges (Abb. 5 und 6) stammt von Enfer, welcher die Schmiedeblasebälge ganz bedeutend verbessert hat. Enfer's Balg für den Blasetisch ist recht einfach. Das Princip der Construction desselben ist identisch mit demjenigen des eben besprochenen Blasebalges, nur besitzen die Enfer'schen Bälge eine cylindrische Gestalt. Daher kann das biegsame Leder derselben einen weit stärkeren inneren Druck aushalten. Der Balg befindet sich in einer Eisentrommel, welche zugleich als Stütze des Blasetisches dient und an den Fuss des Apparates, der an der rechten Ecke mit einem Trittbrett versehen ist, befestigt wird (vergl. Abb. 5). Da die innere Einrichtung des Enfer'schen Blasebalges wenig bekannt sein dürfte, so

wird wohl Abb. 6, welche den Durchschnitt eines solchen in  $\frac{1}{8}$  der natürlichen Grösse darstellt, nicht überflüssig sein. Der Balg ruht auf den Eisenstreifen  $AB, A'B'$  ( $5 \times 25$  mm), während der obere Theil desselben längs der Stangen  $BC, B'C'$  mit 10 mm Durchmesser mit Hilfe der cylindrischen Oesen  $DD'$  gleitet. Der untere gusseiserne Boden des Blasebalges wird in Bewegung gesetzt mittelst des eingeschraubten Stabes  $KL$ , des Hebels  $F'GH$ , der an dem Ende  $H$  die Form einer Gabel besitzt, und des U-förmig gebogenen Drahtes  $HL$ . Der mittlere Theil des Balges,  $MNOP$  bildet eine Art Casserole aus Eisenblech; in der



Abb. 5.

Mitte ist der Boden und die an demselben befestigte runde dicke Fichtenplatte mit einem Loch versehen, welches von oben durch das Ventil  $Q$  von der bereits besprochenen Construction verschlossen wird. Ein gebogener Eisenstreifen, welcher nebst dem Ventil an die Holzplatte geschraubt ist, verhindert ein Zurückklappen des Ventils bei einem zu starken Stosse. Der cylindrische Lederbalg des Regulators ist über den oberen Rand des mittleren Theiles gezogen und mit Hilfe einer Schnur festgebunden; über letztere

kommt noch ein Eisenring, der durch einen Tangentialbolzen mit Hilfe von an die Enden angenieteten Winkeleisen zusammengezogen wird. Ebenso sind die übrigen drei Verbindungen des Leders mit dem Boden. Die Naht des Leders ist gekantet, wie bei einem Stiefelschaft, und das Leder ist gründlich mit Talg durchtränkt. Die Falten der Harmonica behalten dank den Eisendrahtringen  $R, R'$  stets ihre Gestalt. Der untere Boden des Blasebalges ist, wie gesagt, von Guss-eisen; direct an demselben ist das Ventil  $Q'$  befestigt, welches grösser ist als  $Q$  und seitlich angebracht wird. Auf dem oberen Boden des Regulators befindet sich das gusseiserne Gewicht  $S$ . Das Ende  $F'$  des Hebels tritt aus dem Balg umschliessenden Cylinder durch die Spalte  $AE$  und ist mit dem Tritt  $F'$  mit Hilfe einer Kette verbunden.

Auf dem Durchschnitt durch den Blasebalg (Abb. 6) ist das Trittbrett verkürzt dargestellt, da der Längsschnitt in der Ebene der Steifen  $ABC$ ,  $A'B'C'$  vorgenommen, letztere

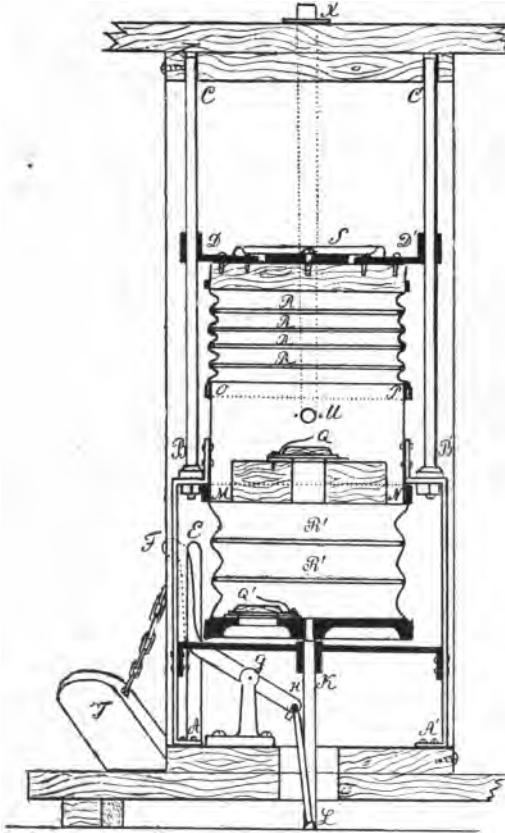


Abb. 6.

Ebene aber um  $20^\circ$  in Bezug auf die vordere Tischkante gedreht ist, damit der Streifen  $AB$  die dieser parallele Bewegung des Hebels nicht behindere (vergl. Abb. 5). Gegenüber der Oeffnung  $U$  ist an der Hinterwand des mittleren

Theiles ein gusseisernes Knie angebracht, welches durch eine Kautschukröhre mit dem Messingrohr *U X*, das an den Tisch geschraubt wird und dem Brenner Luft zuführt, verbunden ist. Die Falten der Harmonica sind recht elastisch; daher nimmt die Stärke des Luftstromes beim Heben des Regulators ganz beträchtlich zu. Bei einem langsamen Treten kann man einen gleichmässigen Luftstrom entsprechend einer 4 cm hohen Wassersäule erhalten, während ein Beschleunigen der Bewegung des Trittbrettes den Druck bis zu 35 cm verstärken kann; der Regulator ist in diesem Falle vollständig gehoben. Hier wirkt augenscheinlich nicht bloss die Elasticität der Regulatorwände, sondern auch der hydro-dynamische Druck der aus den Oeffnungen des Brenners austretenden Luft mit. Enfer'sche Blasebälge von grossen Dimensionen werden in feste Cylinder eingeschlossen; die Bewegung des Balgbodens nach unten ruft dann ein Hineinblasen der Luft aus dem Raume zwischen Balg und Hülle in den Regulator hervor, wozu denn auch ein besonderes Ventil angebracht ist, so dass eine doppelte Wirkung erzielt wird.

Es ist schwer zu entscheiden, welches System besser ist, das deutsche oder das französische. Bei einem constanten Luftdruck muss man oft den Hahn bewegen, um die Gestalt der Flamme entsprechend den Anforderungen der Arbeit zu verändern. Manchmal muss man dieses thun, während die erweichte Röhre mit beiden Händen gehalten wird, und es erfordert in solch' einem Falle eine grosse Gewandtheit, die eine Hand zwecks Drehens des Hahnes frei zu machen, ohne dabei den in Arbeit befindlichen Gegenstand zu deformiren. Bei einem französischen Blasebalg braucht man zu diesem Zweck die Bewegung des Trittbrettes bloss zu beschleunigen, resp. zu verlangsamen. Dafür muss man aber auch beständig seine Aufmerksamkeit auf die Bewegung des Trittes richten, damit der Character und die Grösse der Flamme nicht etwa in unerwünschter Weise verändert werde.

Wer etwas von Tischlerarbeiten versteht, kann sich auch selbst einen Blasebalg deutschen oder französischen Systems anfertigen. Die Herstellung eines Blasebalges ist in Dr. Frick's „Physikalischer Technik“, 1. bis 5. Aufl., ausführlich genug beschrieben. Diese Arbeit erfordert, wenn

zum ersten Male ausgeführt, etwa 50—100 Stunden. Es kann sich damit also nur Jemand, der viel freie Zeit hat, befassen, da sonst zum Gebrauche des Instrumentes viel zu wenig Zeit übrig bleiben wird.

Was das oben erwähnte hydraulische Gebläse betrifft, so ist dessen Anwendung dort, wo der Druck des Wassers gering ist, mit grossen Kosten verknüpft. Das Wasser wird eben von der Gesellschaft nach dem Volumen verkauft, unabhängig von dem Druck, unter welchem man dasselbe erhält; eine hydraulische Pumpe wirkt aber durch den Druck des Wassers. In den unteren Etagen der Häuser, welche sich in der Nähe des Wasserthurmes befinden, verbraucht ein solcher Apparat verhältnissmässig wenig Wasser; in dem oberen Stock eines Gebäudes, das weit von besagtem Thurm gelegen ist, verlangt dagegen dieselbe Menge Druckluft eine weit grössere Menge Wassers. Man kann ungefähr annehmen, dass für 1 cbm ein wenig zusammengespresster Luft 1,5 bis 2 und mehr cbm Wasser aus der Leitung erforderlich sind.

Die Hilfsinstrumente des Glasbläasers sind so einfach und gering an Zahl, dass es besser ist, wenn dieselben bei Besprechung der einzelnen Arbeiten, zu denen solche erforderlich sind, beschrieben werden. Eingehender besprochen zu werden verdient bloss das Glasmesser, welches so manche interessante und wenig bekannte Eigenthümlichkeit besitzt.

\* Das Glasmesser wird gewöhnlich aus einer gut gehärteten Stahlplatte angefertigt; es erfordert einige Gewandtheit und Uebung, dasselbe richtig anzuwenden. Die Sache ist nämlich die, dass man das Messer auf zweierlei Art schleifen kann und dass, je nachdem wie das Messer geschliffen ist, dasselbe auch gehandhabt werden muss. Am einfachsten ist es, das Glasmesser so zu schleifen, dass die Schneide wie bei einer Sense einen aufgestülpten Rand darstellt; zu diesem Zweck schleift man das Messer auch ganz wie eine Sense, d. h. auf einem einfachen, grobkörnigen Schleifstein. Will man mit einem auf diese Art geschliffenen Messer eine Schramme herstellen, so fährt man mit der ganzen Schneide (wie mit einer Säge) über die bezeichnete Stelle der Röhre; das Glasmesser wirkt in diesem Falle wie

die Kante einer Feile. Bei einer solchen Schneide wird das Messer jedoch bald stumpf und man muss dasselbe also oft schleifen; für schwach gehärtete Messer ist dieses indess die einzig rationelle Schleifmethode.

Die zweite Art des Schleifens gibt eine glatte, ziemlich stumpfwinklige Schneide. In diesem Falle muss man das Glasmesser auf einem guten Oelstein schleifen und darf die Schneide keine Unebenheiten aufweisen, wenn man mit dem Finger darüber fährt. Diese Methode ist bloss für gut gehärtete Messer anwendbar. Beim Schneiden mit einem solchermaßen geschliffenen Messer muss man die Röhre unter Ausübung eines leichten Druckes rollen, so dass eine neue Stelle der Röhre auch eine neue Stelle der Schneide berührt. Bei einer solchen Handhabung bleibt das Messer lange Zeit scharf. In meinem Besitze befindet sich ein solches Messer, welches ich selbst aus sogenanntem „Silberstahl“ angefertigt und in Quecksilber gehärtet habe, welches vorher in einer Mischung von Schnee und Salz ( $-20^{\circ}\text{C.}$ ) erkaltet war. Obgleich ich das Messer recht oft benutze, so brauche ich dasselbe höchstens zwei Mal jährlich zu schleifen.

Ein recht gutes Instrument zum Schneiden von Glas auf die eben beschriebene Art wird erlangt, wenn man auf einem Schleifstein eine gute Dreikantfeile so abschleift, dass ganz glatte Flächen entstehen (natürlich unter der Bedingung, dass die Feile gut gehärtet ist). Ein solches Instrument ist auch im Handel zu haben; dasselbe wird von Goldarbeitern (und Maschinenbauern) benutzt und „Schaber“ genannt [D].

## Das Material zu den Glasblasearbeiten.

Dieses wird auf den Glashütten in Form von Röhren und compacten Stäben mit verschiedenem Durchmesser hergestellt und gelangt in den Handel in höchstens  $1\frac{1}{2}$ —2 m langen Stücken. Manche Eigenschaften dieses Materials sind durch die Herstellungsart desselben bedingt. Aus der weichen

Glasmasse wird eine Kugel aufgeblasen und diese von zwei einander diametral gegenüberliegenden Enden zu einem Cylinder ausgezogen. Je stärker die Kugel ausgezogen wird, desto kleiner wird der Durchmesser der Röhre; je dünner die Wände der Kugel im Verhältniss zum Durchmesser derselben sind, desto dünnwandiger werden die Röhren. Beim anfänglichen Kochen der Glasmasse entweichen aus derselben viele Dämpfe, wodurch die Masse schäumt und wesshalb man dieselbe im Laufe mehrerer Stunden stark erwärmen muss, damit alle Bläschen entweichen. Es bleiben aber fast stets einige Bläschen im Glase zurück, die sich beim Ausziehen der Kugel zu einer Röhre in feine flache Canäle verwandeln, welche mehr oder weniger lang in den Wänden verlaufen. Einige Röhren erhalten sogar durch die Menge dieser Canälchen ein streifiges Aussehen. Solche Röhren soll man nicht nehmen; beim Arbeiten schmelzen diese Canäle zu und es bläht die in demselben eingeschlossene Luft, welche sich beim Erwärmen ausdehnt, oftmals das Glas an der erhitzten Stelle auf, was eine Bildung von Blasen zur Folge hat, die platzen und dadurch Unebenheiten entstehen lassen können. Es kommt auch vor, dass ein Ende eines solchen Canales sich dem unbewaffneten Auge unsichtbar während der Arbeit innerhalb des Apparates öffnet und dass das Nämliche mit dem anderen Ende von aussen geschieht; dadurch entsteht oftmals eine Verbindung des Apparates mit der Luft, während der Apparat durchaus hermetisch verschlossen sein muss. Diese Erscheinung wird von Glasbläsern oft beobachtet; Experimentirenden ist dieselbe jedoch wenig bekannt.

Eine andere Folge der besonderen Herstellungsart der Röhren auf den Glashütten ist die Krümmung derselben. Die Kugel wird in horizontaler Richtung ausgezogen, zu welchem Zweck ein zweiter Arbeiter (oder auch beide) auf dem Boden der Fabrik geht oder auch läuft. Die biegsame, heisse Röhre nimmt, unter dem Einfluss der Schwere, die Gestalt einer sogenannten „Kettenlinie“ an. Eine dünne Röhre wird in dieser Form erkalten, bevor noch dieselbe auf den unebenen Fussboden des Fabrikgebäudes gelegt wird; massivere Röhren dagegen werden hierbei von neuem gebogen. Wenn nun eine lange Röhre in Stücke geschnitten

wird, so kann man die Krümmung jedes einzelnen Stückes bloss bei recht aufmerksamem Betrachten bemerken.

In der Mitte wird eine auf diese Art gezogene Röhre ihr Minimum an Dicke haben und sich zu beiden Enden hin erweitern. Da nun die ganze Röhre für den Verkauf in Stücke geschnitten wird, so erhält ein jedes Stück annähernd eine kegelförmige Gestalt, nur das Mittelstück wird sich zu den Enden hin erweitern und sich im Allgemeinen der cylindrischen Form mehr nähern. Die gewöhnlichen Röhren werden in den Glashütten nicht angelassen; dieser Operation unterwirft man bloss die Wasserstandsrohren, Röhren für Liebig'sche Kühlapparate und wahrscheinlich auch einige Thermometer- und Filigranröhren.

Den Dimensionen und der Bestimmung nach werden die Röhren in verschiedene Sorten eingetheilt. Die gewöhnlichen Röhren, wie solche in den Handlungen mit chemischen Apparaten erhältlich sind, besitzen etwa 1—3 mm dicke Wände und 3—15 mm Durchmesser. Solche Röhren lassen sich ohne Aufblasen leicht biegen, wenn die Wände nicht dünner sind als  $\frac{1}{6}$  des inneren Durchmessers; man nennt diese Sorte „Biegeröhren“. Röhren mit noch dünneren Wänden, von etwa 4—100 mm Diameter, sind speciell für Glashlasearbeiten bestimmt und führen daher den Namen „Blaseröhren“. Es gibt auch breite dickwandige Röhren, doch werden solche selten angewandt; in Folge des ungenügenden Anlassens platzen dieselben leicht, sowohl zu Anfang des Erwärmens auf dem Blasetische, als auch während der Aufbewahrung. Röhren von 5—10 mm äusseren Durchmessers und mit einer inneren Höhlung von ca. 2 und weniger mm nennt man „Barometerröhren“, da dieselben zu gewöhnlichen Zimmerbarometern benutzt werden.

Die Thermometerröhren besitzen gewöhnlich eine abgeflachte innere Höhlung, deren Querschnitt eine stark verlängerte Ellipse gibt. Oftmals ist in eine solche Röhre ein Milchglasstreifen eingeschmolzen, damit das Ende der Quecksilbersäule auf dem weissen Hintergrunde stärker hervortrete. In letzter Zeit gibt man diesen Röhren äusserlich die Gestalt eines dreiseitigen Prismas mit convexen Seitenflächen; eine solche Röhre repräsentirt eine Art Vergrößerungsglas und



vergrössert, wenn man in der passenden Richtung schaut, bloss die Breite der Quecksilbersäule.

Für grosse Thermometer, wie solche bei den Optikern als Firma ausgehängt werden, nimmt man flache dünnwandige Röhren mit bis zu 20 mm Breite. Dieselben sind auch zu einigen anderen physikalischen Apparaten recht gut verwendbar. Eine besondere Sorte der dünnwandigen Röhren mit ca. 10—50 mm Durchmesser wird speciell für Liebig'sche Kühlapparate hergestellt. Diese Röhren werden gut angelassen, da dieselben ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen aushalten müssen. Solche Glasröhren eignen sich auch zu Blasearbeiten.

Die Wasserstandsrohren für Dampfkessel und andere Apparate endlich werden sehr sorgfältig angelassen und gelangen in den Handel meistens fertig zugeschnitten und mit geschliffenen Rändern. Der Zusammensetzung nach sind diese Röhren zu Glasblasearbeiten untauglich.

Compacte Glasstäbe sind 2, 3 bis 20 und noch mehr mm dick. Die dickeren zeigen gewöhnlich Blasen und werden zu Blasearbeiten fast gar nicht gebraucht; man verwendet dieselben aber wohl bei der Construction von physikalischen Apparaten.

Das Aeußere der zu Glasblasearbeiten tauglichen Röhren muss folgenden Bedingungen genügen:

\* 1) Das Glas muss rein, durchsichtig, ohne Blasen und Luftcanäle sein.

2) Die Röhren müssen womöglich in ihrer ganzen Ausdehnung cylindrisch sein.

3) Im Querschnitt muss die Röhre einen Kreis, keine Ellipse geben.

4) Die Wände müssen überall von gleicher Dicke sein, sowohl in den verschiedenen Querschnitten, als auch besonders in den Richtungen der Radien eines und desselben Querschnittes [D].

Das Glas, welches bei Blasearbeiten zur Verwendung gelangt, wird seiner Zusammensetzung nach in drei Hauptsorten eingetheilt:

1) Leicht schmelzbares Natronglas. Die aus dieser Sorte bestehenden thüringer Röhren, aus welchen die billigen

thüringer Thermometer und chemischen Apparate hergestellt werden, lassen sich weit besser als die anderen Sorten angehörigen bearbeiten. Recht gutes Glas von dieser Gattung wird auch auf den russischen Fabriken hergestellt. Ohne mich auf eine detaillirte Untersuchung der Eigenschaften und der Zusammensetzung dieser Glassorten einzulassen, bemerke ich, dass dieselben an der Oberfläche leicht verwittern, besonders unter dem Einfluss des Wassers oder von Säuredämpfen.

2) Leicht schmelzbares Bleiglas („Flintglas“). Von dieser Sorte gelangt zu uns bloss französisches Fabrikat. Dasselbe ist noch leichter schmelzbar als das Natronglas, zeichnet sich durch eine besondere Reinheit der Masse aus, besitzt einen hohen Glanz und eine vorzügliche Weisse, platzt auch nicht so leicht beim plötzlichen Abkühlen oder Erhitzen, wird jedoch in der Reductionsflamme bald schwarz und verlangt daher besondere Vorsichtsmafsregeln beim Bearbeiten.

3) Schwer schmelzbares Kaliglas, sogenanntes „böhmisches Glas“. Dieses ist in der Blasetischflamme nur mit Mühe zu erweichen, jedoch geradezu unentbehrlich für Apparate, welche einer grossen Hitze ausgesetzt werden sollen. Man benutzt diese Glassorte besonders zu Röhren, welche zu organischen Verbrennungs-Analysen bestimmt sind. Die Röhren aus schwer schmelzbarem Glas sind selten so rein und regelmässig, wie gute Röhren von den beiden ersten Sorten. Die Farbe des böhmischen Glases ist gewöhnlich eine grünliche. Nicht in diese Sorten hinein gehören die farbigen und gemusterten Röhren („Filigranröhren“, welche speciell zur Anfertigung von Spielereien auf dem Blasetische verkauft werden). Der Zusammensetzung nach können diese Röhren verschiedenen Sorten angehören; man muss dieselben recht vorsichtig erhitzen, da manche Farben sich in der Oxydations-, andere wieder in der Reductionsflamme verändern.

\* Wenn man weiches Glas lange Zeit bis zur Rothgluth erhitzt, so wird dasselbe matt, undurchsichtig, porzellanartig (und kann nicht mehr glänzend erweicht werden). Diesen Vorgang bezeichnet man mit dem technischen Ausdruck „Entglasen“; im höchsten Grade entglastes Glas wird „Réaumur-sches Porzellan“ genannt.

Untersucht man entglastes Glas unter dem Microscop, so bemerkt man in der Masse desselben zahlreiche Crystalle; solches Glas repräsentirt gewissermassen einen Uebergang des Glases aus dem amorphen Zustande in einen crystallinischen. Dieses Entglasen tritt mehr oder weniger schnell ein und hängt ab von der mehr oder weniger complicirten Zusammensetzung des Glases. Je mehr Kieselerde, desto leichter entglast das Glas; hierbei verändern sich einige physicalische Eigenschaften, so vergrössert sich z. B. beim Entglasen das specifische Gewicht [D].

Bloss einige wenige gute Glassorten entglasen bei andauerndem Bearbeiten in der Blasetischflamme nicht. Wir werden weiter unten sehen, dass man bei manchen Arbeiten das Glas lange erwärmen muss, um mehr Masse anzusammeln; manchmal lässt man auch eine schlecht gerathene Kugel sich zusammenziehen und bläst dieselbe von neuem auf. Dieses gelingt bloss bei den besten Glassorten. Böhmisches (schwer schmelzbares) und noch anderes Glas entglast so schnell, dass man nach einmaligem, womöglich schwachem Erwärmen die Arbeit beenden muss.

Jedoch zeigt auch sehr gutes Glas eine Art Entglasung, welche durch die Verwitterung hervorgerufen wird. Diese Erscheinung bemerkt man an alten Röhren, die lange aufbewahrt worden sind, weit eher, als bei neuen, eben von der Fabrik erhaltenen; am stärksten geht jedoch die Verwitterung vor sich, wenn die Röhren der anhaltenden Einwirkung von Wasser oder von Säuren und Laugen ausgesetzt werden. Die dünne Oberschicht des Glases verliert dann einen Theil ihres Alkalis, wird daher schwerer schmelzbar, im allgemeinen nicht identisch mit den inneren Theilen und verbindet sich mit letzteren bloss bei hohen Temperaturen, die ein Flüssigwerden der gesammten Masse bewirken. Dadurch erklären sich auch, woher bei verhältnissmässig geringem Erwärmen über einer kleinen oder rufsenden Flamme, welche bloss zum Biegen oder Ausziehen der Röhre ausreicht, letztere matt wird. Besonders stark bemerkt man diese matte Farbe an der concaven Seite der Biegungen, wo das Glas zusammengestaucht worden ist. Unter dem Microscop stellt dieser matte Ton bei 40 facher Vergrösserung eine Reihe von Fält-

chen dar, die in den verschiedensten Richtungen verlaufen und einem zerknitterten Stück Zeug ähnlich sehen. Wenn man eine erwärmte und matt gewordene Röhre nicht biegt, sondern auszieht, so bemerkt man im matten Theile durchsichtige Streifen, deren Richtung senkrecht zur Röhrenaxe ist. Unter dem Microscop erscheinen dann die Fältchen in der Längsrichtung ausgezogen, mit Unterbrechungen in der Querrichtung. Bei einem noch stärkeren Ausziehen sieht die Oberfläche der Röhre durch das Microscop betrachtet so aus, als ob auf einer vollkommen durchsichtigen Glasfläche zerstörte Epithelzellen vereinigt wären. Wenn man aber im Erwärmen einer solchen Röhre bis zum Schmelzen des Glases fortfährt, so wird dieselbe wieder durchsichtig, lässt sich auch gut bearbeiten und hält ein mehrmaliges Erwärmen aus, ohne zu entglasen (ein leicht matter Ton bleibt bloss an der Grenze der erwärmten und nicht erwärmten Theile zurück). Wie aus Analysen hervorgeht, sind einem solchen Entglasen besonders Röhren aus Natrium im Ueberschuss enthaltenden Glase unterworfen [D].

\* Viele Glasarten besitzen die Eigenschaft, beim Erwärmen bis zu hohen Temperaturen, die aber zum Erweichen des Glases noch nicht hoch genug sind, spröde zu werden. Man bemerkt dieses Sprödewerden besonders beim Erkalten des Glases; es genügt dann ein schwacher Stoss oder ein geringes Biegen, um die Entstehung eines Risses im fertigen Gegenstand hervorzurufen. Die Risse treten hierbei gewöhnlich an der Aussenseite der Biegung auf.

Man sollte diese Eigenthümlichkeit niemals vergessen und daher beim Anfertigen complicirter Apparate am Blasetische recht vorsichtig sein [D].

\* Die elastische Nachwirkung des Glases macht sich auch manchmal bei gewöhnlicher Temperatur bemerkbar. Ein Glasstab, resp. eine Glasröhre, krümmt sich, wenn mit den Enden horizontal auf zwei Stützen gelegt, leicht unter den Einfluss der Schwere. Wenn der betreffende Gegenstand längere Zeit in dieser Lage verbleibt, so bleibt die Krümmung, auch wenn man hierauf dem Object eine verticale Stellung gibt. Ganz dasselbe wird bei theuren Thermometern beobachtet. Man kann indess die Krümmung ausbessern, in-

dem man den Gegenstand um  $180^\circ$  dreht und denselben auf den Stützen lange Zeit liegen lässt. Um das Geradebiegen zu beschleunigen, kann man leichte Gewichtchen anhängen. Am besten jedoch ist es, wenn man theure Thermometer, getheilte Röhren u. dergl. m. in hängender Lage aufbewahrt; sollen dieselben durchaus liegen, so thut es gut, wenn man von Zeit zu Zeit eine Drehung um ihre Axe vornimmt [D].

Bei Thermometern ruft die elastische Nachwirkung die bekannte Erscheinung der Veränderung des Nullpunktes hervor. In letzter Zeit hat man indess Glassorten erfunden, in denen genannte Erscheinung nur in sehr geringem Grade bemerkbar ist. Solches Glas wird in Jena im Laboratorium von Schott hergestellt und ist unter dem Namen „Normalglas“ bekannt. Zur Unterscheidung ist eine jede Röhre aus diesem Glase mit einem rothen Längsstreifen versehen. Eine mit gleicher Eigenschaft ausgestattete Sorte grünen Glases wurde von dem Pariser Glasbläser Tonelot in den Handel gebracht.

Schott's Versuche ergaben nämlich, dass Thermometerglas bloss eines von den zwei Alkalimetallen Kalium oder Natrium enthalten dürfe. Die Beimengung eines zweiten Alkalis, selbst in geringer Menge, vergrössert die elastische Nachwirkung des Glases ganz bedeutend. Da nun aber Glas, welches bloss ein Alkalimetall enthält, schwer schmelzbar ist und leicht entglast, so sah man sich gezwungen, andere Substanzen beizumengen, um das Glas leichter schmelzbar und zur Bearbeitung tauglich zu machen. Die Zusammensetzung des jetzigen jenaischen Normalglases ist folgende:

Natron . .	14,5	$\frac{0}{100}$
Kalk . . .	7	$\frac{0}{100}$
Thonerde .	2,5	$\frac{0}{100}$
Zinkoxyd .	7	$\frac{0}{100}$
Kieselsäure	67	$\frac{0}{100}$
Borsäure .	2	$\frac{0}{100}$

Die Veränderungen, welchen der Nullpunkt unterworfen ist, sind in diesem Glase sechsmal geringer, als in gewöhnlichem thüringer, und dreimal geringer, als in englischem Bleiglas. Das jenaische Normalglas wird ausserdem noch in weit geringerem Grade, als dies bei den anderen Sorten

der Fall ist, vom Wasser angegriffen. Laut sorgfältiger quantitativer Analysen, deren Resultate F. Mylius 1888 und 1889 veröffentlichte, wirkt das Wasser am stärksten auf gewöhnliches, billiges, leicht schmelzbares thüringer Glas; zweimal weniger wird thüringer Glas von der besseren Sorte, dreimal weniger schwer schmelzbares böhmisches, achtmal weniger Blei- und endlich zwanzigmal weniger jenaisches Normalglas zersetzt.

Zur schnellen qualitativen Untersuchung der verschiedenen Glassorten schlägt Mylius vor, eine Lösung von Jodeosin,  $C_{20}H_8J_4O_5$  (im Handel „Erithrosin“ genannt), in Aether zu benutzen. Den käuflichen Aether sättigt man mit Wasser, giesst den abgestandenen Theil der Mischung ab und fügt je 0,1 gr Jodeosin pro 100 ccm hinzu<sup>1)</sup>. Man erhält eine orangegelbe Lösung. Wenn man dieselbe in ein Gefäß von dem zu analysirenden Glase giesst oder in die Lösung ein compactes Stück Glas von derselben Sorte taucht, so färbt sich die Oberfläche desselben nach einigen Stunden himbeerroth, und zwar um so stärker, je mehr das Wasser das Glas angreift. Das im Aether enthaltene Wasser löst nämlich das Alkali an der Oberfläche des Glases, wodurch der Ton des Eosins verändert wird. Eine Röhre aus altem Glase, die lange gestanden hat, bedeckt sich gewöhnlich mit einem laugenhaften Salzüberzug. Wird eine solche Röhre ohne vorhergegangenes Waschen mit der Eosinlösung behandelt, so erhält man von vornherein eine starke Färbung. Daher muss man das Glas vor dem Versuch mit Wasser auswaschen. Normalglas färbt sich kaum merklich; ebenso verhalten sich diejenigen Theile einer Röhre aus gewöhnlichem Glase, welche kurz vor der Analyse bis zum völligen Weichwerden erhitzt worden sind. Wenn man dagegen die Röhre erwärmt hat, ohne dieselbe zu reinigen, so liefert der Versuch ein entgegengesetztes Resultat. Eine Röhre, welche lange Zeit in Wasser gekocht worden ist, gibt eine ebensolche Färbung, wie vorher; wird dieselbe aber nach dem Kochen bis zu 300 oder 400° erwärmt, so verliert die

<sup>1)</sup> Im Handel findet man weit öfter Bromeosin, eine Purpurfarbe, die auch zu solchen Versuchen verwendet werden kann, aber weniger empfindlich ist, als Jodeosin.

Röhre das Wasser, das sich in die zerfressene Oberfläche des Glases eingesogen hatte, und färbt sich daher schwach. Auf diese Art bearbeitetes Glas wirkt wahrscheinlich noch besser isolirend und setzt wohl der Zersetzung durch Wasser einen grösseren Widerstand entgegen. Bei Vergleichen der Zusammensetzung von verschiedenen Glassorten ergab sich, dass am wenigsten angegriffen wird Glas, dessen Zusammensetzung ungefähr 1 Aequivalent Kalk, 1 Aeq. Alkali und 6 Aeq. Kieselsäure aufweist; gewöhnlich thut man jedoch weit mehr Alkali hinzu, damit das Glas leichter schmelzbar werde.

Weitere Versuche von Förster (Z. f. Instrumentenkunde 1893, p. 459) über die Einwirkung von Säuren und Alkalien auf Glas haben gezeigt, dass Säuren nicht unmittelbar das Glas lösen, und dass ihre Wirkung hauptsächlich durch Wassergehalt bedingt ist. Mittelstarke caustische Alkalilösungen wirken auch unmittelbar lösend, namentlich auf Alkalisilicate. Ganz concentrirte Lösungen dagegen wirken bei 100° C nicht kräftiger als mittelstarke und bei Zimmertemperatur bedeutend schwächer.

Am widerstandsfähigsten zeigte sich das Jenaer Thermometerglas 59<sup>III</sup> und das von Stas für chemische Geräte vorgeschlagene Glas, welches jetzt wieder im Handel durch Leybold's Nachfolger in Köln eingeführt ist.

Noch mehr bemerkenswerthe Resultate hat Hr. Schott über sein neues „Verbundglas“ in dem Vortrage im Verein zur Beförderung des Gewerbeleisses zu Berlin am 4. April 1892 mitgetheilt (s. Beibl. 17, p. 313). Die Ausdehnungscoefficienten der verschiedenen Gläser schwanken zwischen 0,00001097 und 0,00003275. Durch Kühlung gespannte Gläser besitzen einen nahezu um 5 % höheren Ausdehnungscoefficienten als ungespannte. Um gegen äussere mechanische Angriffe, sowie gegen Temperaturwechsel widerstandsfähige Gläser zu erhalten, sollen deren äussere Schichten in comprimirtem, aber nicht in gedehntem Zustande sein. Dieses Ziel kann durch passend schnelle Kühlung (la Bastie), sowie durch Bildung der äusseren Schicht eines gut gekühlten Gegenstandes aus einer anderen Glassorte, welche einen grösseren Ausdehnungscoefficienten als die innere besitzt, erreicht werden.

## Die verschiedenen Handgriffe bei der Arbeit.

### 1. Das Reinigen der Röhren.

Es ist gewöhnlich weit bequemer, gerade Röhren zu reinigen, als bearbeitete, welchen man bereits complicirtere Formen gegeben hat. Selbst die eben erst auf der Fabrik hergestellten Röhren sind selten vollkommen rein. Während des Blasens gelangen nämlich in dieselben, gleichzeitig mit der Luft, aus dem Munde des Arbeiters Speisefragmente und ammoniumhaltige Ausdünstungen, oftmals auch Alkoholdämpfe; alles dieses bildet, indem es anbrennt, einen Ueberzug auf der inneren Oberfläche des Glases. Während des Transportes und der Aufbewahrung kommen noch Staub und Rufs hinzu, die von den Enden der Röhre aus eindringen. Bei langem Aufbewahren von nicht zu stark bestaubten Röhren bilden sogar die in diesem Ueberzug enthaltenen Ammoniaksalze in Folge von Crystallisation reguläre, nadelartige Muster.

Thermometerröhren von innen zu reinigen, gelingt nicht; dieselben werden auf der Fabrik gleich nach dem Zerschneiden zugeschmolzen. Der Versuch, eine solche Röhre mit einer Säure oder Lauge zu waschen, führt gewöhnlich zur Beschädigung der Röhre. Die innere Oberfläche wird dermaßen angegriffen, dass die Quecksilbersäule an derselben haften bleibt, sich theilt und sich nicht frei bewegt, wie das doch in einem guten Thermometer der Fall sein sollte. Aus diesem Grunde soll man also nur im äussersten Falle Säuren und Laugen zum Reinigen gewöhnlicher Glasröhren verwenden; einige geringere Sorten werden durch solches Reinigen matt und zu einer weiteren Bearbeitung untauglich. Gewöhnlich genügt es, wenn man die Röhre anhaucht, damit sie leicht beschwitze, und dieselbe hierauf mit dünnem, weichem, sogenanntem Seidenpapier, welches man um ein Rohrstäbchen oder eine andere Röhre von entsprechender Länge und Dicke gewickelt hat, abreibt. Benutzt man hierzu Glasröhren, so muss man solche mit Papier bedecken, soweit dieselben in die zu reinigende Röhre eingeführt werden sollen, da sonst das durch nichts behinderte Reiben von Glas an Glas Ritzen, ja sogar ein Platzen



der zu reinigenden Röhre hervorrufen könnte; der Festigkeit der Röhre besonders gefährlich ist das Reiben der inneren Oberfläche mit einem Eisendraht. Für enge oder sehr lange Röhren nimmt man am besten ein Schnürchen oder einen Faden, an dessen Ende man ein Gewichtchen aus Kupferdraht bindet oder Siegellack anklebt und dessen Mitte man mit einigen Handschuhlederstückchen versieht. Indem man nun die Röhre vertical hält, leitet man das Gewichtchen durch dieselbe und zieht hierauf die Lederschnitzel hin und her, bis die Röhre hinreichend rein ist. Wenn dieses nicht genügt, so kann man das Leder mit trockener Kreide einreiben; dann muss aber der in der Röhre zurückbleibende Kreidestaub mittelst eines Büschelchens hygroscopischer Watte, das an Stelle des Leders befestigt wird, entfernt werden.

Schmutzigere Röhren werden mit Wasser ausgewaschen, auch mit Spiritus, wenn dieselben mit Harz verunreinigt sind; dagegen nimmt man Aether oder Benzin, um Fett daraus zu entfernen, wäscht die Röhre mit einer Mischung von Schwefelsäure und doppelt-chromsaurem Kali, um eine Oxydation und das Entfernen von verschiedenen organischen, durch die anderen Lösemittel nicht angegriffenen Stoffen hervorzurufen, endlich gebraucht man Salpetersäure zum Entfernen von haftengebliebenem Quecksilber. Auf den Gebrauch der Säuren folgt natürlich eine gründliche Auswaschung mit Wasser, welches man anfangs direct von der Wasserleitung, dann aber in destillirtem Zustande nimmt. Um nun die Röhre zu trocknen, muss man dieselbe, nachdem man den Ueberschuss an Wasser auf mechanischem Wege entfernt hat, der ganzen Ausdehnung nach erwärmen und durch die Röhre Luft einziehen oder hindurchblasen. Hierbei kann mit der Luft aber auch sehr leicht Staub eindringen. Um diesen zu entfernen, leitet man die Luft durch eine Schicht hygroscopischer Watte, mit welcher man entweder die eine Oeffnung der zu trocknenden Röhre leichthin verstopft, oder die man auch in eine besondere Röhre thut, ähnlich einer Trockenröhre für Gas. Auf eine ähnliche Art trocknet man auch Glasgefäße mit engem Halse nach deren Auswaschung. Wenn man das Wasser hierbei bis zum Sieden

erhitzt, so geht das Trocknen sehr rasch von Statten, liegt dagegen die Temperatur des feuchten Glases unter dem Siedepunkt, so trocknet das Gefäss oder die Röhre weit langsamer.

Man muss dabei nicht vergessen, dass Wasser, und sogar Aether, ein wenig von der Masse an der Oberfläche des Glases auflösen. Daher lässt selbst destillirtes Wasser, wenn dasselbe lange mit dem Glase in Berührung gewesen ist, beim Verdampfen an der Oberfläche des Glases einen bemerkbaren Ueberzug zurück. Hiervon hängt die Schwierigkeit ab, das Innere eines Gefässes vollkommen zu reinigen. Wo die Form dieses zulässt, ist es am besten, das Glas zur endgiltigen Reinigung mittelst hygroscopischer Watte oder mit weichem Papier und trockener Kreide zu reiben.

Wenn man durch eine reine Röhre mit dem Munde Luft hindurchbläst, so wird dieselbe schon verunreinigt; daher soll man in Thermometerröhren, welche an beiden Enden offen sind, niemals, selbst nicht während der Arbeit, Luft hineinblasen.

## 2. Das Zerschneiden der Röhren.

Die Glasbläser zerschneiden gewöhnlich die Röhren mit Hilfe des oben beschriebenen, besonderen Messers. Für Chemiker verkauft man ebenfalls solche Messer in Holzheften, doch ziehen Glasbläser von Profession ein Messer ohne Heft vor, das die Form und Grösse einer gewöhnlichen Visitenkarte besitzt und die beiden langen Seiten entlang geschliffen ist. Wenn man dünnwandige Röhren schneidet, muss man schwach andrücken, da man sonst leicht die Röhre zerdrücken könnte. Daher muss das Messer gut unter einem Winkel von  $60^{\circ}$  geschliffen sein, und zwar auf einem gewöhnlichen Sandsteinblock von ziemlich grobem Korn, wie solche beispielsweise von den St. Petersburger Zimmerleuten benutzt und in den Werkzeughandlungen in Form von unbearbeiteten Stücken verkauft werden. Wenn man das Messer wie eine Feile anwendet, indem man die Röhre auf den Tisch legt, so ist es schwer, den richtigen Druck abzapassen. Daher ziehen die Glasbläser es vor, das Messer vertical in der Hand zu halten, indem sie dasselbe mit dem Zeige- und

kleinen Finger an den verticalen, stumpfen Kanten halten und mit der unteren scharfen Kante gegen den Mittel- und Ringfinger drücken. Die Röhre hält man hierbei in der linken Hand, drückt dieselbe mit dem Daumen der rechten gegen die nach oben gerichtete schneidende Kante des Messers und führt die Röhre der Kante entlang. Wenn man einen etwas längeren Strich ziehen will, so dreht man hierbei mit der linken Hand die Röhre um ihre Axe. Im allgemeinen genügt es, eine  $\frac{1}{6}$  oder noch weniger vom Umfang betragende Ritze zu ziehen. Es ist hierbei zu beachten, dass dieselbe tief sei, nicht aber breit und dabei flach. Nicht ein jedes Messer kann eine gute Ritze auf dem Glase ziehen. Manche Messer sind zu weich und werden sogleich stumpf; andere dagegen sind zu spröde, so dass die Schneide ausbröckelt und das Messer während des Schleifens die Form einer unregelmässigen Säge annimmt. Wenn die Ritze gut, d. h. tief ist, so brechen die Röhren, dünnwandige sowohl als auch solche bis zu 15 mm Durchmesser mit Leichtigkeit an der geritzten Stelle. Hierzu muss man die Röhren mit beiden Händen ergreifen, doch der Ritze nicht zu nahe, eine Bewegung machen, als wolle man dieselbe auseinanderreissen und in diesem Moment die Röhre zusammenbiegen, und zwar so, dass die Ritze an der convexen Seite zu liegen kommt. Wenn man die Hände nicht auseinander bewegen würde, so würden dieselben sich sehr schnell und unwillkürlich, sogleich nachdem der Bruch vor sich gegangen ist, nähern. Hierbei könnte man sehr leicht die Hände an der scharfen Kante der Röhre beschädigen. Ausserdem ruft das Auseinanderziehen auch noch einen regelmässigeren Bruch hervor. Einige Leute erachten es für nöthig, beim Brechen mit dem Daumen gegen die Ritze zu drücken. Dieses bewirkt aber oftmals bloss einen unregelmässigen Bruch. Manchmal muss man die Röhre so nahe am Ende abschneiden, dass man beim Brechen nirgends anfassen kann. In solch' einem Falle erhitzt der Glasbläser, nachdem er die Ritze gezogen hat, das Ende einer Glasröhre oder eines Glasstabes mit einem Durchmesser von 3 mm und drückt dieses mit einer passenden und schnellen Bewegung gegen die Ritze. Wenn ein Riss nicht augenblicklich entsteht, so muss man das erhitzte Glas fortnehmen

und gegen die Röhre blasen, um durch schnelles Abkühlen einen Riss hervorzurufen. Wenn man dann nochmals das heisse Ende desselben Stabes dem Ende des bereits entstandenen Risses nähert, indem man dabei den Stab ein wenig vor den Riss bringt, so veranlasst man dadurch das Glas leicht zum Weiterplatzen. Gewöhnlich macht man einen Riss von einem Ende bis zur Hälfte des Umfanges und fängt dann vom anderen Ende an, um die wahrscheinliche Ablenkung des Risses von der vorgezeichneten Richtung zu verringern.

Wenn man hierin Erfolg haben will, so muss man die Dicke der zu erhitzenden Röhre und des zu erhitzenden Theiles derselben der Dicke der Wände der zu zerschneidenden Röhre anpassen. Eine zu dicke erhitzte Röhre wird einen unregelmässigen, ja selbst sich verzweigenden Riss entstehen lassen, während eine zu dünne überhaupt keinen Riss hervorruft.

Selbst ein erfahrener Arbeiter erhält bei Anwendung des beschriebenen Handgriffes stets Brüche mit schwachwelligen, nicht vollständig glatten Rändern. Oftmals lenkt sogar der Riss zur Seite ab, besonders wenn man denselben an einem eben an der Lampe bearbeiteten und daher schlecht gekühlten Theile der Röhre macht. Einen ziemlich regelmässigen Riss kann man hervorrufen mit Hilfe eines Eisendrahtakens von 3—5 mm Dicke, der recht genau in der Richtung eines Bogens über einem dem Diameter der Röhre gleichen Durchmesser gebogen ist und dessen Länge ungefähr die Hälfte der Peripherie beträgt. Die Röhre ritzt man vorläufig mit dem Messer ein, erhitzt dann den Haken in der Blasetischflamme bis zur intensiven Rothgluth, klemmt denselben in den Schraubstock ein oder befestigt den Haken auf irgend eine andere Art so, dass die Ebene des Hakens vertical wird und dreht hierauf die Röhre, nachdem man die Ritze an den Draht gelegt hat, mit beiden Händen langsam um ihre Axe. Gewöhnlich bildet sich ein regelmässiger Riss bereits nach einigen Umdrehungen von selbst, manchmal jedoch muss man, nachdem die Röhre aus dem Haken genommen ist, gegen dieselbe mit dem Munde blasen. Auf diese Art kann man Apothekergläser und -Flaschen zerschneiden. Nur sehr schlechtes, schlecht gekühltes Glas gibt

hierbei unregelmässige Risse. Dieser Handgriff findet sich in mehreren Büchern beschrieben; es gelingt aber nicht immer, ein gutes Resultat zu erzielen, wenn man nach diesen Anleitungen verfährt. Die Unerlässlichkeit der Befestigung des glühend gemachten Hakens und des Drehens der Röhre mit beiden Händen wird gewöhnlich nicht erwähnt, während man doch, wenn der Haken mit der einen Hand gehalten und die Röhre mit der anderen gedreht wird, unmöglich die Berührung in einem und demselben Querschnitt unterhalten kann und somit der entstehende Riss unregelmässig und wellig wird.

Aussergewöhnlich dickwandige Röhren von 5 und mehr Millimeter Dicke und compacte dicke Glasstäbe zu schneiden gelingt mit Hilfe der oben beschriebenen Methoden nicht. Diese verlangen weit wirksamere Mittel. An der Schnittstelle zieht man rund um die Röhre eine möglichst tiefe Ritze, indem man hierzu das Glasmesser in der Art einer Feile gebraucht. Hierauf macht man eine kleine, möglichst spitze Flamme zurecht, zu welchem Zweck man die feinste Spitze für den Luftzfluss einstellt, ein wenig Gas hineinlässt und den Luftstrom aus dem Blasebalge nach Möglichkeit verstärkt. Noch besser ist zu diesem Zweck die Spitzflamme des Doppelröhrchens bei dem oben beschriebenen französischen Brenner. Nachdem man die Spitzflamme erhalten hat, hält man gegen dieselbe, jedoch nicht in den leuchtenden Theil der Flamme, die zu zerschneidende Röhre und dreht letztere lebhaft im Laufe einiger Secunden. Hierauf nimmt man die Röhre aus der Flamme und bläst mit dem Munde auf erstere, um einen Riss hervorzurufen. Man muss schnell, jedoch nicht sehr stark erhitzen, jedenfalls weit unter der Rothgluth, da sich sonst ein Riss nicht einstellt. Bei einer zu breiten Flamme und schnellem Erwärmen kann ein unregelmässiger Riss entstehen.

Daher muss man folgende Vorsichtsmafsregel anwenden; man verfertige aus Filtrirpapier, das etwa vierfach zusammengelegt ist, zwei lange Streifen, benetze solche mit Wasser und umwickele mit denselben die Röhre zu beiden Seiten der Ritze, indem man letztere in der Mitte des freien, etwa 2 mm breiten Glasstreifens lässt. Wenn nöthig, befestige

man die Streifen mit Hilfe von Bindfaden. Hierauf unterwerfe man die derart präparirte Röhre der Wirkung der Spitzflamme, wie bereits oben beschrieben, oder erwärme dieselbe einfach über einem Gas- oder Spiritusbrenner. Das nasse Papier hält die Wärme ab, daher wird bloss der scharf abgegrenzte Glasstreifen um die Ritze herum erwärmt und man erhält einen sehr regelmässigen Riss und Bruch.

Der Glasbläser theilt oft den zur Arbeit nothwendigen Theil der Röhre ab, ohne denselben abzuschneiden; er erwärmt bloss die betreffende Stelle über dem Brenner und zieht die Röhre aus. Die sich hierbei bildende dünne und lange Spitze bietet eine bequeme Handhabe beim weiteren Arbeiten. Beispiele von dieser Methode, die für die Arbeit erforderliche Menge an Material abzuthemen, werden wir in der weiteren Darlegung berücksichtigen.

Es gibt noch eine Anzahl Methoden zum Zerschneiden von Röhren, doch arbeitet man mit Hilfe derselben weit weniger schnell und zuverlässig, als mit Hilfe der oben beschriebenen, und es werden solche daher von Glasbläsern von Profession nicht angewandt, obgleich dieselben für den Experimentirenden, welcher keinen Blasetisch bei der Hand hat, von Nutzen sein können.

So sind z. B. zum Bilden verschiedener Gefässe, besonders aus solchen mit bereits vorhandenen Rissen, recht empfehlenswerth die käuflichen Berzelius'schen „Kohlen zum Schneiden von Glas“. Die Schnittlinie muss man vorläufig mit Tinte oder mit auf Glas schreibendem Bleistift vorzeichnen. Auf einem stehenden Gefässe hält es sehr leicht, einen regelmässigen, dem Boden parallelen Strich zu ziehen, wenn man das schreibende Instrument auf eine Unterlage von der gewünschten Höhe legt und dann dasselbe schreiben lässt, indem man das Gefäss dreht. Wenn der Strich gezogen ist, so entzündet man das Ende der Kohle und lässt dieselbe, indem man dagegen bläst, bis zur Bildung eines scharfen, conischen Endes brennen. Dieses brennende Ende legt man nun leicht an das Ende des bereits vorhandenen Risses, ein wenig vor denselben, und unterhält das Brennen durch Blasen mit dem Munde. Der Riss rückt schnell in der Richtung der sich vorwärts bewegenden Kohle vor, bis er zu der Entfernung

von 2 oder 3 mm vom Anfangspunkt gelangt. Von Zeit zu Zeit muss man die Kohle wenden, da dieselbe an der Aussenseite stärker abbrennt, dagegen in Folge von Berührung mit dem Glase erlischt. Jedesmal, wenn man die Kohle wegnimmt, tritt gewöhnlich eine kleine Biegung im Riss ein, die sich stets längs der gemeinsamen Tangente an den Kegel der brennenden Kohle und die cylindrische Oberfläche des Gefässes verbreitet. Daher muss man seine ganze Aufmerksamkeit dem Einhalten der einmal gewählten Richtung des Kohlenstabes zuwenden. Mittelst der Kohle einen Riss an einer heilen Stelle hervorzurufen hält schwer; zu diesem Zweck muss man vor allem eine tiefe Ritze ziehen, und doch bilden sich gewöhnlich zwei oder drei divergirende Risse auf einmal. Daher ist es am besten, mehrere Male abseits, an einer unnöthigen Stelle des zu zerschneidenden Gefässes, anzufangen und hierauf einen der jetzt entstandenen Risse auf die bereits vorgezeichnete Linie überzuführen.

\* Der Kohlenstift von Berzelius wird folgendermassen bereitet; man nimmt 16 Theile Gummitraganth (erweicht diesen) und bereitet daraus mit Hilfe einer genügenden Wassermenge einen steifen Kleister, thut hierauf 8 Theile in einer möglichst geringen Menge Alcohol gelösten Benzoes hinzu, mischt alles dieses unter allmählichem Hinzuschütten von Holzkohlenpulver sorgfältigst zu einem dicken, gleichartigen Teig zusammen, aus welchem man dann Stäbchen von 3—4 mm Durchmesser und 10—15 cm Länge ausrollt. Man trocknet diese Stifte an der Luft [D].

Gewöhnliches, weiches Glas kann man auch recht schnell mit Hilfe einer guten, recht feinen Feile zerschneiden, welche mit Wasser, Terpentinöl oder, noch besser, mit einer Lösung von Camphor in Terpentinöl benetzt ist. Eine trockene Feile stumpft sehr schnell am Glase ab, schneidet jedoch bei Benetzung mit einer Camphorlösung Glas fast ebenso leicht wie harte Bronze.

\* Hierbei muss man jedoch mit grosser Vorsicht verfahren, da man sonst leicht die ganze Sache verdirbt. Die Vorsicht besteht darin, dass man bei der Arbeit mit der Feile möglichst schwach auf das Glas drückt, weil bei der geringsten Verstärkung in dem mittelst der Feile ausgeübten

Drucke das Glas gewöhnlich in den verschiedensten Richtungen platzt. Um dieses zu verhindern, muss man bei der Arbeit die Röhre auf irgend etwas Weiches, z. B. auf ein Filzkissen legen, oder aber dieselbe in der Hand halten, doch auf keinen Fall die Röhre gegen die Tischplatte, geschweige denn gegen etwas Metallisches, drücken [D].

Die Glasschleifer schneiden Glas auch mit dem Rande einer sich schnell drehenden dünnen Kupferscheibe, welche mit einer Mischung von Schmirgel und Wasser bestrichen ist. Gewöhnlich wird auf diese Art bloss ein tiefer Einschnitt im Gefässe gemacht und hierauf der oben beschriebene glühende Drahtbogen angewandt. Statt dieses einer Kreissäge ähnelnden Apparates gebraucht man auch manchmal ein der Bogensäge ähnliches Instrument; man spannt Kupferdraht in der Art einer Sehne auf eine gebogene Holzgerte. Indem man nun diesen Draht beständig mit einem Gemenge von feinem Schmirgel und Wasser bestreicht, kann man mit Hilfe dieses Apparates selbst dicke Stücke Glas durchschneiden; soll diese Arbeit Erfolg haben, so muss der Schmirgel ziemlich fein sein, und man darf nur mässig, nicht sehr stark drücken. Doch verlangt diese Arbeit mehrere Stunden, während doch der Glasbläser gewohnt ist, auf das Zerschneiden nur Minuten zu verwenden; daher arbeitet er denn auch nicht mit Hilfe der zuletzt beschriebenen Methoden.

Einen Diamanten benutzt man selten zum Schneiden von Röhren und Gefässen; der Versuch hat dargethan, dass durch einen solchen hervorgerufene Risse sich über die ganze Dicke des Glases bloss dann verbreiten, wenn dieselben an der inneren Oberfläche des betreffenden Gegenstandes gemacht werden. Daher wendet man gewöhnlich den Diamanten bloss zum Beschneiden der Ränder grosser Kuppeln an, da man bei solchen an der Innenfläche frei hantiren kann. Jetzt findet man bereits im Verkauf Diamanten zum Glasschneiden an langen, vertical zur Schnittrichtung befestigten Stielen. Mit Hilfe eines solchen Diamanten kann man einen Strich im Innern einer Röhre ziehen und dann durch Erwärmen einen Riss hervorrufen. Jedoch ist infolge der unbequemen Handhabung eines solchen Instrumentes der Schnitt selbst bei erfahrenen Arbeitern gewöhnlich wellig.



Längst schon ist, freilich als Spielerei, das Zersägen mittelst einer Schnur beschrieben worden. Zu diesem Zweck bindet oder klebt man an die bezeichnete Stelle zwei mehrfach zusammengelegte Papierstreifen, um dadurch eine Vertiefung für die Schnur herzustellen, wodurch letztere gezwungen wird, sich stets auf einer Stelle des Glases zu bewegen. Man nimmt hierzu eine nicht dicke, aber steife, fest gedrehte Schnur; die Arbeit wird von Zweien verrichtet, indem man in der einen Hand den zu zerschneidenden Gegenstand, mit der anderen die Schnur hält. Nachdem man etwa 3 Minuten aus voller Kraft mit der einfach umgelegten Schnur gesägt hat, nimmt man dieselbe schnell ab und taucht sofort den Gegenstand in Wasser; gewöhnlich bildet sich hierbei ein sehr glatter Riss. An einer conischen Stelle ist es unumgänglich, die Papierstreifen anzukleben, da dieselben sonst abgleiten und dann nichts herauskommt. Diese Methode mag manchem Experimentirenden recht nützlich sein, kostet aber den Glasbläser von Fach viel zu viel Zeit und Mühe.

### 3. Das Abschmelzen der Enden von zerschnittenen Röhren.

Beim Zerschneiden einer Röhre wird ein scharfer, die Haut der Finger bei der Berührung leicht verletzender Rand erhalten. Es ist bekannt, dass Laien sehr leicht Schnittwunden beim Hantiren mit zerbrochenem Glase erhalten, während doch Glasarbeiter sich sehr selten die Hände beschädigen. Die Ursache hiervon liegt darin, dass der Rand beim Gleiten über die Finger sehr leicht schneidet, während man in senkrechter Richtung ziemlich stark darauf drücken muss, um eine Schnittwunde zu erhalten. Wer sich nun vor dem Einschneiden fürchtet, fasst das Glas gewöhnlich „mit zitternder Hand“ an und weiss nicht, dass man gerade das Gleiten der Finger verhüten muss, aus welchem Grunde der Laie denn auch weit mehr dem Zufall, sich zu schneiden, ausgesetzt ist, als ein erfahrener Arbeiter, welcher das Glas leicht, aber sicher angreift. Nichtsdestoweniger darf man nicht unterlassen, nach dem Abschneiden einer Röhre mit dem Glasmesser leicht über die äussere, scharfe Kante derselben zu fahren, um letztere abzustumpfen; sonst kann man sehr leicht die Lippen beim Hineinblasen in die Röhre verletzen.

Die Kanten eines eben abgeschnittenen Glasgegenstandes kann man noch besser mit Hilfe einer feinen Feile abstumpfen; es ist sogar nicht schwer, mit Hilfe eines solchen, in eine Lösung von Camphor in Terpentin getauchten Instrumentes die Unebenheiten des Randes zu glätten. Eine grobe Feile bröckelt zu viel von dem Glase am Rande aus und verdirbt mehr, als sie gut macht.

Gewöhnlich jedoch schmilzt der Glasbläser den Rand der Röhre ab. Wenn man diesen Rand in die Löthischflamme einführt und, indem man die Röhre dreht, erstere bloss an den scharfen Kanten ein wenig glühen lässt, so runden letztere sich ab und schneiden dann nicht; die allgemeine Gestalt der Röhre verändert sich bei dieser Manipulation noch nicht (Abb. 7, <sub>1</sub>). Wenn man jedoch die Ränder stärker glüht, so runden sich dieselben in stärkerem Maße ab und gleichzeitig beginnt die Öffnung sich zusammenzuziehen, in Folge Einwirkung der Spannung an der Oberfläche des schmelzenden Glases (Abb. 7, <sub>2</sub>). Wenn man das Ende der Röhre lange und stark glüht, so schliesst solche sich vollkommen, und es entsteht am Ende derselben eine starke Verdickung und Ansammlung von Glasmasse (Abb. 7, <sub>3</sub>). Eine solche Art des Zuschmelzens mit einer Verdickung ist aber recht selten willkommen, auch platzt die Anschwellung leicht von selbst, wenn dieselbe nicht sehr sorgfältig gekühlt ist. Wie man Röhren regelrecht zuschmilzt, werden wir unten sehen.

Um das Ende der Röhre für die Aufnahme in einen Pfropf herzurichten, ist es recht bequem, dasselbe abzuschmelzen, indem man das Ende sich ein wenig zusammenziehen lässt, damit es in die enge Oeffnung des Pfropfes nach Art eines Keiles passe. Weit öfter jedoch ist es wünschenswerth, die

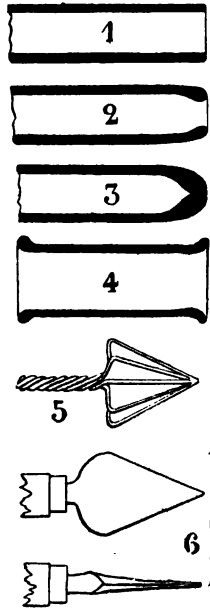


Abb. 7.

Ränder ein wenig trichterförmig auswärts zu kehren (Abb. 7, 4). Zu diesem Zweck wendet man verschiedene Mittel an. Am allerbesten ist es, aus Kohle für electricisches Licht Aufreiber in der Gestalt von vielseitigen abgestumpften Pyramiden herzustellen, ähnlich den von den Schlossern angewandten Aufreibern oder Reibahlen von verschiedenem Durchmesser und mit verschiedenen Ecken an der Spitze. Indem man nun das Ende der Röhre bis zum Weichwerden erhitzt, nimmt man dieselbe aus der Flamme heraus, steckt das Ende des Kohlenaufreibers hinein und dreht die Röhre, gleichzeitig mit der Reibahle, ziemlich schnell in entgegengesetzten Richtungen, so lange, bis der auswärts gekehrte Rand den gewünschten Umfang angenommen hat. Man kann diesen Process auch während des Erwärmens fortsetzen, muss aber dann, nach Beendigung der Arbeit, den auswärts gekehrten Rand nahe bis zum Weichwerden erwärmen und dann langsam abkühlen, da das Glas sonst platzen würde.

Statt der Kohlenaufreiber benutzen französische Glasbläser eine fünfseitige Drahtpyramide mit einem Heft (Abb. 7, 5). Dieselbe wird aus Kupferdraht von 1—1,5 mm Durchmesser angefertigt. Um in das Heft eingeführt werden zu können, werden die fünf Drähte in einer Länge von etwa 12 cm zusammengedreht, hierauf die freien Enden in den Richtungen der Radien eines regulären Fünfecks auseinandergebogen und dann wie die Grund- und Seitenkanten einer regulären fünfseitigen Pyramide zusammengebogen. Nachdem man den überflüssigen Draht abgeschnitten hat, biegt man die Kanten genau zusammen, so dass dieselben in der Spitze zusammenreffen und verlöthet dieselben mit Messing. Zu diesem Zweck genügt es, wenn man auf die zu löthende Stelle Borax schüttet, den Draht in der Blasetischflamme stark glühen lässt und dann das Ende eines Messingdrahtes nähert, bis letzterer schmilzt und die Enden vereinigt. Hierauf tauche man den gelötheten Gegenstand sogleich in Wasser, damit der Glühspan abfalle. Eine solche Reibahle ist fast ebenso practisch wie ein Kohlenaufreiber.

Die deutschen Glasbläser verwenden zum Ausbreiten der Röhrenden ein flaches, spitzes Eisen- oder Kupferschaufelchen von der Form eines Speeres oder eines gleich-

schenklichen Dreiecks (Abb. 7, <sub>9</sub>). \* Bei der Arbeit muss man alle mit dem erwärmten Glase in Berührung gelangenden Metallinstrumente leicht mit Wachs einreiben, da dieselben sonst im Glase haften bleiben [D].

Während das erweichte Ende der Röhre sich an seinem Umfange ausdehnt, verengt sich dasselbe an der Basis des sich bildenden Trichters (s. d. rechte Ende bei Abb. 7, <sub>4</sub>). Dieser Umstand ist gewöhnlich nicht hindernd und fördert sogar das feste Verkorken der Röhrenöffnung. Manchmal ist es jedoch nöthig, die volle Breite der inneren Höhlung des Rohres inne zu halten (s. d. linke Ende bei Abb. 7, <sub>4</sub>). In diesem Falle führt man in das erhitzte Ende die abgerundeten Enden einer gewöhnlichen Pincette ein, dreht die Röhre schnell um letztere und zieht unterdessen die Pincette allmählich aus der Röhre. Die auseinanderdrückende Kraft der federnden Pincette muss man mit der Hand aufmerksam reguliren. Bei einer gewissen Fertigkeit und Aufmerksamkeit kann man mit Hilfe dieses Handgriffes genau den ursprünglichen Durchmesser der Röhre wieder herstellen. Die an dem linken Ende von Abb. 7, <sub>4</sub> sichtbare, stark abgerundete Gestalt des auswärtsgekehrten Endes erhält man durch starkes Abschmelzen der wie am rechten Ende der Abbildung auswärtsgekehrten Ränder. Manchmal ist es für den Glasbläser vortheilhafter, statt des Abschmelzens der Ränder der Röhre, letztere zuzuschmelzen, hierauf am Ende eine Kugel auszublasen, diese zu öffnen und die überflüssige Glasmasse zu entfernen oder in einen verdickten Rand auszuschmelzen. Auf diese Art kann man auch den ungleichmässig abgeschnittenen Rand einer dünnwandigen Röhre abschmelzen und entfernen. Dieser Handgriffe wird weiter unten, in den das Ausblasen von Kugeln und Trichtern am Ende der Röhre behandelnden Abschnitten, näher gedacht werden.

#### 4. Einige allgemeine Bemerkungen über das Erwärmen von Röhren in der Blasetischflamme.

Nur dünnwandige Röhren von geringem Durchmesser halten ein ungenirtes Erwärmen aus; sind die Röhren dagegen etwas dicker und nicht vom besten Glase, so platzen

dieselben gleich zu Anfang des Erwärmsens oder springen in Splitter, wenn das abgeschnittene Ende erwärmt wird. Es ist daher gut, eine jede dickere Röhre vor dem Erwärmen mit der Hand zu umfassen und unter mässigem Druck durch die ganze Faust hindurchzuziehen; dadurch wird die Röhre leicht vorgewärmt. Hierauf hält man den zu erwärmenden Theil der Röhre über die gewöhnliche, rufsende Flamme des Brenners, ohne einstweilen in letzteren Luft einzuführen, und dreht die Röhre recht schnell um die eigene Axe, indem man erstere allmählich in die Flamme selbst einführt. Wenn die Röhre mit einer Rufsschicht bedeckt ist und der Rufs an der Oberfläche zu brennen beginnt, erst dann kann man Luft in den Brenner blasen und die Röhre in das Ende der Flamme einführen. Der Rufs verbrennt schnell völlig und die erwärmte Stelle beginnt sich zu röthen. Jetzt kann man schon ohne Gefahr die Röhre in den heissesten Theil der Flamme stecken. Diese Vorsichtsmaßregeln sind unumgänglich für dicke Thermometerröhren und überhaupt für alle dickwandigen. Bei den meisten gewöhnlichen Röhren genügt ein anfängliches Vorwärmen in dem äussersten, nicht leuchtenden Theile der Blasetischflamme, man führt aber solche Röhren in den heissesten Theil erst dann, wenn dieselben sich bereits röthen. Eine Erwärmung des abgeschnittenen Endes einer dickwandigen Röhre ist stets am ungefährlichsten dann, wenn man eine solche in der Entfernung des doppelten oder dreifachen Durchmessers vom Rande vornimmt und hierauf erst allmählich zur Erwärmung des Randes selbst übergeht. Die Praxis zeigt sehr schnell, in welchem Grade man mit den verschiedenen Röhrensorten vorsichtig sein muss.

Besonders aufmerksam muss man alle diejenigen Theile einer Röhre, welche bereits auf dem Blasetisch bearbeitet worden und mit einer Verdickung oder Anschmelzung versehen sind, bearbeiten, wenn bei fortgesetzter Arbeit solche Stellen nochmals erwärmt werden müssen. Dagegen halten durch Bearbeitung dünn gewordene Theile gewöhnlich recht gut ein wiederholtes Erwärmen aus.

Bereits früher ist auf die Unumgänglichkeit des langsamen Abkühlens einer fertigen Arbeit hingewiesen worden, besonders wenn dieselbe verdickte Theile besitzt. Gewöhnlich

wendet man hierbei die eben beschriebenen Vorsichtsmafsregeln an, doch in umgekehrter Reihenfolge. Beim weiteren Abkühlen muss man die Arbeit vor Zugwind schützen. Besondere Aufmerksamkeit verlangende Fälle werden nöthigen Ortes berücksichtigt werden.

Sehr oft aber geschieht es, dass, ungeachtet aller Vorsichtsmafsregeln, die Arbeit zu Anfang des Erwärmens platzt. Wenn das Glas hierbei in Stücke zerfällt, so ist da gewöhnlich nichts weiter zu machen. Oftmals jedoch geht der Riss nicht weiter und der Gegenstand verliert seine Form nicht. In diesem Falle kann man im Erwärmen fortfahren, da das Glas weich wird und der Riss von selbst zuschmilzt. Gewöhnlich ist die Narbe eines solchen Risses an der fertigen Arbeit bemerkbar, doch droht von einer solchen „Hitzspalte“ der Dauerhaftigkeit des Gegenstandes keine weitere Gefahr.

### 5. Das Biegen der Röhren.

Ziemlich dickwandige Röhren zu biegen ist nicht schwer; man darf dieselben nur nicht zu stark durch Erhitzen erweichen und während des Biegens die concave Seite in keinem Falle stärker erwärmen als die convexe. Daher ist es am besten, Röhren von einer Dicke bis zu 1 cm in der Flamme eines gewöhnlichen Schmetterlingsbrenners zu biegen. Man hält hierbei die Röhre mit beiden Händen horizontal längs der Flamme und dreht dieselbe anfangs unaufhörlich. Die Röhre beginnt sich mit Rufs zu bedecken, hierauf fängt letzterer an zu verbrennen. In diesem Augenblick bemerkt man, dass die Röhre sich bereits biegt. Jetzt lässt man im Drehen nach und biegt die Röhre leicht in der verticalen Ebene, indem man die Enden in die Höhe hebt. Eine gute, dauerhafte Biegung darf nicht allzu jäh sein, dann bleibt der Querschnitt der Röhre überall der nämliche, obwohl von einer etwas zusammengedrückten Gestalt (Abb. 8, 1). Zu diesem Zweck muss man gleich ein recht beträchtliches Stück der Röhre, hierauf die kurzen Theile derselben der Reihenfolge nach erwärmen und dann die kurzen Enden allmählich zusammenbiegen. Wenn man eine stark erweichte Röhre plötzlich biegt oder beim Biegen die concave Seite stärker erwärmt, so erhält man eine nicht dauerhafte Biegung mit

einer Falte an der concaven Seite (Abb. 8, 2 und 3). Eine solche Biegung auszubessern gelingt nicht. Wenn dagegen die Röhre beim Biegen an der convexen Seite überhitzt ist oder die Wände derselben im Verhältniss zum Durchmesser dünn sind, so plattet sich die Röhre an der convexen Seite ab (Abb. 8, 4). In diesem Falle verschliesst man ein Ende

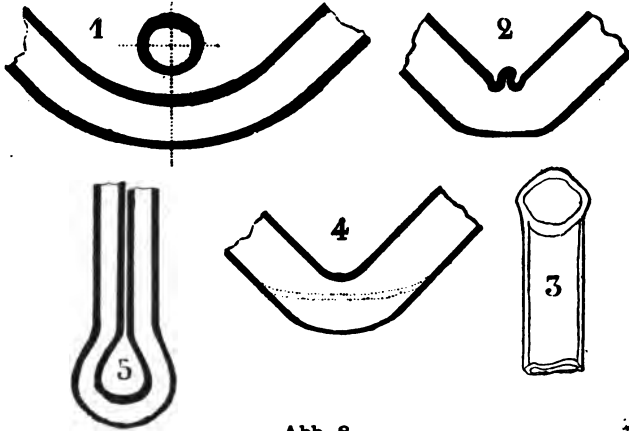


Abb. 8.

dieser Röhre mit einem Stückchen Wachs, einem Pfropf oder einfach mit dem Finger, erwärmt den ganzen abgeplatteten Theil der Biegung bis zum völligen Weichwerden, indem man die Spitze der Flamme auf die Mitte der Abplattung lenkt und bessert die Form der Biegung aus, indem man mit dem Munde durch das andere, offene Ende der Röhre Luft hineinbläst. Wenn man hierbei mehr als nöthig aufblasen sollte, so kann man das Erwärmen wiederholen, indem man mit dem entfernteren und kälteren Theile der Flamme beginnt; das Glas zieht sich dann, nachdem dasselbe erweicht worden ist, von selbst zusammen und ein neues, mässiges Ausblasen kann den Fehler wieder gutmachen.

Röhren mit bedeutendem Durchmesser werden in der Blasetischflamme gebogen, weil man dieselben über einem Schmetterlingsbrenner nicht genügend erwärmen kann. Während des Biegens lässt man recht viel Gas in den Brenner

strömen, so dass man eine breite, grosse, schwach leuchtende und nicht sehr heisse Flamme erhält. Sehr dünne Röhren und Glasfäden kann man sehr leicht über der Blasetischflamme biegen, wenn man das Blasen einstellt, während der Gaszufluss dermassen verringert wird, dass das Gas mit ruhiger leuchtender Flamme brennt.

Breite, U-förmige Röhren, wie solche sehr häufig in der chemischen Praxis Verwendung finden, werden in folgender Ordnung gebogen. Zuerst wird das eine Ende verschlossen oder zugeschmolzen, dann erwärmt man die zu biegende Stelle bis zu einer recht beträchtlichen Weiche und biegt nun auf einmal, wie man nöthig hat, ohne die Abplattung zu beachten (Abb. 8,4, die punktirten Linien). Erst nachträglich erwärmt man die abgeplattete Seite und bläst dieselbe in einem oder mehreren Malen aus, je nach dem Grade der Geschicklichkeit des Arbeiters und dem Durchmesser der Röhre. Wenn beide Kniee der gebogenen Röhre einander der ganzen Ausdehnung nach berühren sollen, so gibt man der Biegung die Form einer Oese, wie Abb. 8,5 zeigt.

## 6. Das Ausziehen und Zuschmelzen der Röhrenden.

Die bisher besprochenen Arbeiten erfordern beinahe keine besondere Gewandtheit; die Schwierigkeiten beginnen erst in dem Augenblick, in welchem man die Mitte der Röhre nahe bis zum völligen Weichwerden erwärmen muss. Wenn einem die Hände hierbei nicht gehorchen, so hilft alles nichts — die Arbeit wird gleich total verdorben.

Um eine Röhre in eine Spitze auszuziehen, fasst man dieselbe an beiden Enden an, führt die Röhre in die Flamme ein, erwärmt dieselbe unter fortwährendem Drehen in einer Richtung und zieht, nachdem man die Röhre aus der Flamme genommen hat, dieselbe aus (Abb. 12,1). Anfangs hat man bei dieser Arbeit mit keinen Schwierigkeiten zu kämpfen, bald jedoch wird die Röhre, in Folge des Erwärmens, weich. Wenn dieselbe lang ist und etwa die Mitte erwärmt wird, so erhalten die freien Enden das Uebergewicht, es beginnt in Folge dessen die erwärmte Stelle sich unaufhaltsam in die Höhe zu biegen und zieht sich hierbei aus. Eine kurze Röhre dagegen, welche man an den Enden halten muss,



wird sich unter dem Einflusse des Gewichtes der Hälften desselben nach unten biegen. Hieraus ergibt sich, dass man beide Theile der Röhre nicht weit vom Schwerpunkte mit den Händen stützen muss, um ein solches Biegen zu verhindern. Einen sehr langen Theil der Röhre muss man ausserdem oftmals noch auf den Tisch oder auf eine besondere Unterlage stützen.



Abb. 9.

Um bequemer arbeiten zu können, setzt sich der Glasbläser gewöhnlich vor den Blasetisch und stützt die beiden Ellbogen auf denselben. Die linke Hand dient vornehmlich zum Stützen und Drehen des zu bearbeitenden Gegenstandes, während die rechte das Instrument oder das andere Ende der Röhre regiert. Eine schwere, lange Röhre hält man einfach mit der linken Faust, indem man die Finger nach unten kehrt, wobei Daumen und Zeigefinger zum Drehen dienen, während die übrigen drei Finger die Röhre halten und dieselbe gegen

die Flamme bewegen (Abb. 9). Eine leichte und dünne Röhre hält man am besten ähnlich einem Federhalter, mit der linken oder rechten Hand, indem man von unten gegen den Ring- und Mittelfinger drückt, so dass der Zeigefinger frei bleibt. Ebenso verfährt man beim Halten des freien Endes einer zu bearbeitenden Röhre, welches selten schwer ist und oftmals bloss als Instrument oder als provisorische Handhabe während des Bearbeitens solcher Theile, die sich links von der erwärmten Stelle befinden, dient (Abb. 10).



Abb. 10.

Dünne und mitteldicke Röhren hält man am besten mit der linken Hand, wie solches die französischen Glasbläser thun; man kehrt hierbei die Handfläche nach unten, legt die Röhre unter dem Ringfinger hindurch auf den kleinen Finger und drückt dieselbe gegen die untere Seite des eingeschlagenen und nach rechts gekehrten Ringfingers. Diese zwei Stützpunkte genügen, um die Lage der Röhrenaxe zu bestimmen, besonders wenn das rechte Ende überwiegt; ausserdem bleiben Daumen, Zeige- und Mittelfinger frei und können zum Drehen benutzt werden (Abb. 11).

Die diese Manipulationen erläuternden Abbildungen 9, 10 und 11 sind nach Momentaufnahmen angefertigt, welche von mir beim Lichte eines Magnesiumblitzes mittels eines

Objectivs von sehr kurzer Brennweite gemacht und hierauf dreifach vergrössert sind. Die Aufnahmen sind in F. Müllers Werkstatt gemacht. Der Arbeitende pausirte nicht, sondern fuhr im Arbeiten fort; aus diesem Grunde ist denn auch die Stellung der Finger eine durchaus natürliche. Das Objectiv des Apparates befand sich während der Aufnahme hinter der Schulter des Arbeitenden, etwa 1 Meter von dessen



Abb. 11.

Händen entfernt, so dass der Gesichtspunkt des Bildes ungefähr mit der Lage der Augen des Arbeitenden zusammenfällt; dieses hat denn auch zur Folge, dass auf den Abbildungen die Stellung der Finger etc. fast genau so erscheint, wie der Arbeitende selbst solche sieht.

Bei Anfängern wird die Röhre sich nicht nur unregelmässig drehen, sondern sogar aus der Flamme treten und sich längs der eigenen Axe hin und her bewegen. Man muss eben auch hier über ein nicht geringes Mafs von Uebung verfügen, um zur Vollkommenheit zu gelangen;

so ziemlich genügende Resultate kann dagegen ein Jeder erzielen.

Wenn man die Röhre regelrecht hält, kann man es so weit bringen, dass dieselbe sich an der erweichten Stelle nicht biegt; hat jedoch das Weichwerden einen gewissen Grad erreicht, so beginnt das Verdrehen des erwärmten Theiles. Dieses kann man einzig und allein durch gleichzeitiges Drehen beider Theile mittels der rechten und linken Hand, bei der nämlichen Winkelgeschwindigkeit, verhindern. Wenn die beiden Enden der Röhre von gleichem Durchmesser sind, so ist so etwas verhältnissmässig leicht; besteht der rechte Theil der Röhre bloss aus einer dünnen und leichten, durch Ausziehen erhaltenen Handhabe, so ist dieses Verhindern auch noch nicht schwer, dagegen fällt ein solches äusserst schwer bei breiten und schweren Röhren, zumal wenn die Enden derselben verschiedene Durchmesser haben. Ein beginnendes Ueberdrehen kann man stets an den gegenseitigen Ortsveränderungen der Unebenheiten im Glase bemerken und ein solches dann schnell ausbessern. Diese Arbeit erfordert vor allem Aufmerksamkeit.

Die Cohäsion der geschmolzenen Glasmasse verursacht, dass letztere sich in ein Gebilde von möglichst geringer Oberfläche bei demselben Volumen zusammenzieht. Führt man nun im Erwärmen bis zum Weichwerden fort, ohne dabei die Röhre auszuziehen oder dieselbe zusammenzustachen, so beginnen die Wände sich zu verdicken und es verringert sich das Lumen gleichzeitig mit dem äusseren Durchmesser. Die

Masse wächst dann an der erwärmten Stelle auf Kosten der Höhlung der Röhre an (Abb. 12<sub>2</sub>). Wenn man hierbei die Röhre unter fortwährendem Drehen in der Richtung der

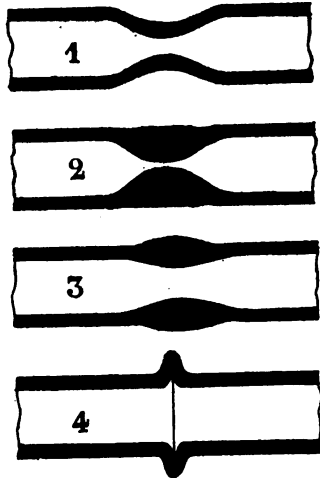


Abb. 12.

Axe zusammenstaucht, so kann man den ursprünglichen äusseren Durchmesser beibehalten oder denselben mit einer Verdickung versehen (Abb. 12, 2 und 3). Schiebt man aber vom Beginn des Erwärms der Röhre dieselbe zusammen und fährt man hierin bis zum Weichwerden des Glases fort, so entsteht eine Falte (Abb. 12, 4). Solche Falten sind manchmal recht erwünscht, z. B. wenn es sich um die Herstellung von Pipetten handelt, bei welchen eine Falte das Halten während des Schliessens mit dem Finger wesentlich erleichtert; leider sind aber diese Fältchen nicht dauerhaft und verlangen ein sorgfältiges Kühlen.

Die weitere Behandlung der Röhre hängt von dem Zweck der Arbeit ab. Will man bloss ein Stück abtheilen und zum Zweck weiterer Bearbeitung mit einer Handhabe versehen, so erwärmt man die Röhre unter fortwährendem Drehen in genügendem Masse, führt dieselbe aus der Flamme heraus und zieht dann, ohne im Drehen innezuhalten, die Röhre bis zur gewünschten Länge aus; der ausgezogene Theil wird hierbei sehr dünnwandig (Abb. 13, 1). Ein schnelles Ausziehen gibt eine dünne und lange Röhre oder vielmehr einen röhrenförmigen Faden, während man durch langsames Ausziehen aus demselben Theil eine weit kürzere und dickere Röhre erhalten kann. Aus verhältnissmässig dünnwandigen Röhren erhält man, wie dieses sich von selbst versteht, äusserst dünnwandige, zerbrechliche ausgezogene Theile. Solche Röhren muss man vor dem Ausziehen mit einer Verdickung versehen. Soll das Ausziehen eines zu weiterer Bearbeitung bestimmten Theiles der Röhre vollzogen werden, so thut ein erfahrener Glasarbeiter dieses stets mit einem etwa 20—30 cm langen Stück und bricht den ausgezogenen Theil dann in der Mitte entzwei, damit an der Röhre auf jeden Fall ein mit einer genügend langen Handhabe versehenes Ende zurückbleibt.

Wenn ein in der Kunst des Glasblasens Unerfahrener eine für eine Spritzflasche oder Pipette bestimmte Röhre ausziehen soll, so empfiehlt es sich, dieses über einer Spirituslampe oder dem Bunsenbrenner vorzunehmen, da deren Flammen weniger heiss sind; man kann mit dem Ausziehen in der Flamme anfangen, ohne dabei im Drehen inne zu

halten. Wenn jedoch die Röhre bereits so weit ausgezogen ist, dass dieselbe sich leicht und schnell ziehen lässt, so muss man die Röhre durchaus aus der Flamme nehmen, da die Spitze sonst schief wird. In der Blasetischflamme geht das Erwärmen viel zu schnell von statten, und deshalb kann ein Unerfahrener bei Benutzung einer solchen weit eher eine unsymmetrische Spitze erhalten, als dieses etwa bei Anwendung der zuerst erwähnten Brenner der Fall sein könnte. Im allgemeinen betrachten die Glasbläser die linke Hälfte der Arbeit als das Ziel ihrer Anstrengungen und geben daher auch beim Ausziehen der Röhre bloss dem linken Theil die gewünschte Form, während sie das rechte Ende als werthlose Handhabe ansehen.

Hat man nun auf diese Art die Röhre ausgezogen, so fährt man mit dem Glasmesser leicht über die Stelle, an welcher man die Röhre brechen will, bricht hierauf dieselbe entzwei und schmilzt die scharfen Kanten ab. Wenn dagegen die Höhlung der ausgezogenen Spitze zu gross ist, so kann man dieselbe mittelst einfachen Erwärmens bis zum Weichwerden verkleinern; die Cohäsion des Glases verrichtet diese Arbeit ohne jegliche weitere Nachhilfe von selbst (Abb. 13, 2). Bei andauerndem und starkem Erwärmen schliesst sich das ausgezogene Ende der Röhre vollständig; gewöhnlich schneidet

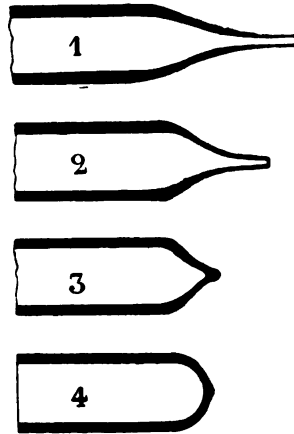


Abb. 13.

man dasselbe für diesen Zweck näher zur Röhre ab (Abb. 13, 1). Recht selten jedoch wird man durch eine solche Form der Zuschmelzung zufriedengestellt; gewöhnlich ist ein regelrechter, kugelförmig zugeschmolzener Theil erforderlich (Abb. 13, 4). Zu diesem Zweck muss man unter beständigem Drehen die ganze unregelmässige Zuschmelzung bis zum Weichwerden erhitzen, indem man das Erwärmen besonders auf das scharfe Ende concentrirt, und hierauf die Röhre in die gewünschte

Form ausblasen. Wenn das Ende stärker als erforderlich ausgeblasen sein sollte, so kann man dasselbe unter fortgesetztem Drehen allmählich so weit erwärmen, dass das Ende sich zusammenzieht, worauf man es dann vorsichtig von neuem ausbläst.

Verhältnissmässig dünnwandige und breite, den Probircylindern ähnliche Röhren so zuzuschmelzen, dass keine Spitze zurückbleibt (s. Abb. 13, 4), hält ziemlich schwer. Zu diesem Zweck erhitzt man anfangs bloss die beim Zuschmelzen entstandene Spitze und bläst dieselbe aus (Abb. 14, 1). Hierauf erwärmt man das ganze Ende, bis dasselbe weich wird und sich zusammenzieht, worauf es ausgeblasen werden kann (Abb. 14, 2). Manchmal muss man diese Arbeit zu mehreren, etwa drei Malen ausführen, indem man jedesmal ein grösseres Stück des zugeschmolzenen Endes erwärmt.

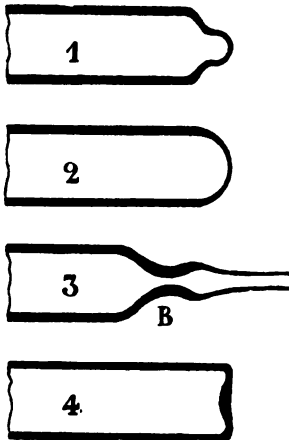


Abb. 14.

Der Boden eines Probircylinders muss dünner sein, als dessen Wände, da derselbe sonst beim Erwärmen leicht platzen könnte. Will man beim Zuschmelzen einer breiten Röhre einen überall gleich dicken Boden erhalten, so muss man vorläufig etwas Glasmasse ansammeln. Zu diesem Zweck zieht man die Röhre unter beständigem Drehen in der oben besprochenen Weise aus und richtet die Flamme auf B (Abb. 14, 3), nachdem man eine Handhabe zurückgelassen hat; das Glas verdickt sich an dieser Stelle, während zugleich der äussere Durchmesser abnimmt. Wenn auf diese Art hinreichend Glasmasse angesammelt ist, so zieht man die Röhre wieder bei B aus und setzt die Arbeit in der oben beschriebenen Weise fort.

Man kann eine Röhre auch mit einem flachen Boden versehen (Abb. 14, 4). Zu diesem Zweck wird, nachdem man die Röhre mit Hilfe der oben angeführten Handgriffe halb-

kugelförmig zugeschmolzen hat, der so entstandene Boden erwärmt, indem diese Operation zuerst mit dem äussersten Punkte vorgenommen wird. Bei dünnwandigen Röhren lässt die Cohäsionskraft allein einen flachen Boden sich bilden. Um dieses zu beschleunigen, drückt man den weich gewordenen Boden auf eine Kohlenplatte, wie solche zu galvanischen Elementen benutzt werden. In der Mitte des Bodens erhält man jedoch in Folge Ansammlung von Glasmasse eine linsenförmige Verdickung. Letztere bewirkt nun, dass flach zugeschmolzene Röhren weit leichter platzen, als solche mit rundem Boden (Probircylinder); ausserdem muss man Röhren mit flachem Boden nach der Anfertigung langsam erkalten lassen.

## 6. Das Ausblasen oder Aufblasen von Kugeln und Trichtern am Ende der Röhre.

Man braucht bloss das Ende einer zugeschmolzenen Röhre ein wenig mehr auszublasen, so erhält man eine sehr dünnwandige Kugel, wenn der Durchmesser derselben den Diameter der Röhre um ein Bedeutendes übertrifft. Gewöhnlich ist man auf das Ausblasen einer solchen Kugel recht stolz, wenn dies während der ersten Versuche in der Kunst des Glasblasens geschieht; in der Praxis finden jedoch solche Kugeln sehr selten Verwendung.

Eine hinreichend dicke Kugel am Ende der Röhre mit einem zwei- oder dreimal so grossen Durchmesser als derjenige der Röhre, kann man nur ausblasen, wenn man vorher am Ende Glas ansammelt. Zu diesem

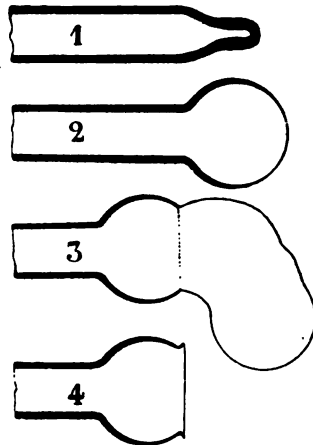


Abb. 15.

Zweck schmilzt man die Röhre, wie Abb. 13, 4 dies zeigt, zu, hierauf erwärmt man unter beständigem Drehen ein recht beträchtliches Stück des Endes, bis dasselbe anfängt, sich



zusammenzuziehen und zu verdicken, wie Abb. 15, <sub>1</sub> zeigt. Nun bläst man, ohne im Drehen innezuhalten, die Verdickung zu einer Kugel von gewünschtem Durchmesser aus, in einem oder, um eine gleichmässige Dicke zu erhalten, in mehreren Malen (Abb. 15, <sub>2</sub>).

Wenn das Glas sich unregelmässig ansammelt oder ungleichmässig erwärmt wird, so entsteht eine schiefe Kugel, da der dünnere oder der wärmere Theil der Wände sich leichter ausdehnt. Dieser Fehler kann jedoch vermieden werden, wenn man sich die Handgriffe so weit angeeignet hat, dass man bei der Arbeit nicht eilt. Es beruht dieses auf Folgendem. Der untere Theil der Kugeloberfläche kühlt schneller ab, als der obere, da ersterer an die kalte Luft stösst, während über die höher liegenden Theile der Kugel die bereits erwärmte Luft, bestrebt, in die Höhe zu steigen, strömt. Daher muss man, wenn man bemerkt, dass eine Seite der Kugel sich stärker aufbläst, dieselbe mit dieser Seite nach unten kehren und in dieser Stellung endgiltig ausblasen; ein noch schnelleres Abkühlen des dünneren Theiles der Kugel würde bloss das weitere Ausblasen theilweise behindern.

Beginnt man mit dem Ansammeln von Glas, während das Ende der Röhre noch eine Spitze besitzt (s. Abb. 13, <sub>4</sub>), so bleibt letztere auf der fertigen Kugel in Gestalt eines Wäzchens zurück. Eine auf diese Art unregelmässig gewordene Kugel kann man unter beständigem Drehen in der breiten, schwach leuchtenden Blasetischflamme erwärmen und dann durch stärkeres Erhitzen zum Zusammenziehen veranlassen, um hierauf durch erneutes Ausblasen der Kugel eine reguläre Form zu verleihen. Wenn man dagegen die Kugel gleich in der heissen Blasetischflamme erwärmt, so verändert dieselbe ihre Form bereits vor dem Zusammenziehen und die Masse vertheilt sich bei wiederholtem Ausblasen noch unregelmässiger, als wie dieses vorher der Fall war.

Grosse Kugeln an den Enden von Röhren bläst man aus angeschmolzenen Theilen dickerer Röhren aus, wie wir dieses weiter unten, im Capitel über das Zusammenschmelzen von Röhren, sehen werden.

Man kann die Kugel am Ende der Röhre öffnen und auf diese Art ein Trichterchen erhalten, wie dies bei den

Welter'schen Röhren der Chemiker der Fall ist. Zu diesem Zweck muss man zuerst das äusserste Ende der Kugel erwärmen, indem man letztere um die Axe der Röhre dreht und der Flamme von der Seite nähert. Wenn die Kugel keine Verdickung besitzt, so plattet dieselbe sich bei dieser Operation ab (s. d. punktirten Linien bei Abb. 15,<sub>3</sub>). Jetzt nähert man die Röhre schnell dem Munde und bläst recht kräftig in dieselbe hinein: der flache, erweichte Boden bläst sich zu einem unregelmässigen, kugelförmigen Gebilde aus, welches entweder während des Ausblasens mit einem lauten Knall platzt oder später bei einem schwachen Drücken zerfällt. Wenn die Kugel ziemlich dickwandig ist, so kann man mittelst leichten Berührens durch eine Feile das überflüssige dünne Glas abbröckeln und dann die unebenen Kanten wie bei einer abgeschnittenen Röhre abschmelzen, worauf man endlich einen der Abb. 15,<sub>4</sub> ähnlichen Trichter erhält. Sind dagegen die überflüssigen Theile verhältnissmässig dick und bröckeln dieselben bei Anwendung einer Feile nicht leicht aus, so schmilzt man solche auf dem Blasetische in folgender Weise ab. Man richtet eine schmale Spitzflamme zu und erwärmt in dieser gleichzeitig das Ende eines Glasstabes oder eines zugeschmolzenen Röhrchens von 2—3 mm Durchmesser und einen Theil des überflüssigen Trichterrandes. Indem man nun das glühende Ende des Glasstabes resp. des Röhrchens diesem erwärmten Theile nähert, schmelzen beide zusammen. Hierauf erübrigt es bloss, die Spitzflamme zwischen den Trichter und den überflüssigen Rand zu richten, und den Stab (das Röhrchen) wegzuziehen, indem man hierbei das unnöthige, erweichte Glas auf letzteren (resp. letzteres) wickelt. Führt man nun in dieser Art um den ganzen Trichter, so schmilzt man unter beständigem Drehen den Rand desselben ab (Abb. 15,<sub>4</sub>). Des Erfolges halber muss man nicht allein die Flamme richtig reguliren können, sondern auch den Durchmesser des Stabes oder Röhrchens der Dicke des abzunehmenden Randes anpassen; ein zu dünner Glasstab wird selbst schmelzen und sich ausziehen, während ein zu dicker nicht genügend schnell erwärmt werden kann und deshalb schlecht an das schnell sich erweichende dünnere Glas anschmelzen wird.

Zum endgiltigen Glätten der Trichterränder kann man eine auf der Wirkung der Centrifugalkraft beruhende Manipulation vornehmen. Man muss durch Uebung u. s. w. dahin gelangen, dass man den Trichter schnell drehen kann, indem man die Röhre, aus welcher derselbe geblasen ist, schnell zwischen den Handflächen rollen lässt und gleichzeitig den Trichterrand in der Blasetischflamme bis zum völligen Weichwerden erwärmt. Dieses ist lange nicht so schwer, wie es auf den ersten Anblick scheint. Indem man nun in dieser Art fortfährt, kann man sogar eine flache, dem Boden eines gewöhnlichen Weinglases ähnliche Scheibe am Ende der Röhre erhalten. Bekanntlich wurde in früheren Zeiten auf den Fabriken das sogenannte „Crown glas (Kronenglas)“, d. h. mit einer Verdickung in der Mitte versehene Scheiben von ca. 2 mm Durchmesser, auf ähnliche Weise bereitet.

### 7. Kugeln in der Mitte der Röhre.

Vor allem muss man das eine Ende der Röhre schliessen. Wenn dasselbe in der Art einer dünnen Handhabe ausgezogen ist, so schmilzt man diese am besten zu. Ist dagegen das Ende bereits vollständig bearbeitet, so verschliesst man dasselbe mittelst eines Pfropfes oder verklebt es mit Wachs. Es kommt jedoch auch vor, dass man eine besondere dünne Handhabe ausziehen muss, um durch diese während der Arbeit Luft hineinblasen zu können. Nach diesen Vorbereitungen beginnt man mit dem Erwärmen derjenigen Stelle, an welcher eine Kugel ausgeblasen werden soll, indem man das geschlossene Ende in der linken Hand hält. Je nach der Grösse der auszublasenden Kugel sammelt man mehr oder weniger Glas an; für eine den Durchmesser der Röhre um ein Geringes übertreffende Kugel genügt eine Ansammlung, wie eine solche bei Abb. 12,<sub>3</sub> zu sehen ist. Nachdem man hierauf diese Stelle bis zum Weichwerden erhitzt hat, nähert man das offene Ende der Röhre dem Munde und bläst eine Kugel aus, entweder unter fortwährendem Drehen, wenn das Ausblasen gleichmässig von statten geht, oder indem man die sich weniger aufblasende Seite nach oben hält.

Für Anfänger in der Kunst des Glasblasens fällt es

recht schwer, eine in der Mitte erweichte Röhre dem Munde zu nähern, ohne dieselbe hierbei zu biegen oder auszuziehen; hier können nur Uebung und Aufmerksamkeit helfen. Man kann jedenfalls bloss den Rath ertheilen, sich im Ausblasen von Kugeln aus recht dickwandigen Röhren mit etwa 1 cm betragenden Durchmesser gründlich zu üben und dabei das Ausblasen stets in der Entfernung der deutlichen Sehweite vorzunehmen, um den Gang der Arbeit mit den Augen verfolgen zu können. Die Arbeit wird noch ein wenig erleichtert, wenn man durch einen leichten, ausgezogenen Theil der Röhre bläst (Abb. 16, 1 und 2).

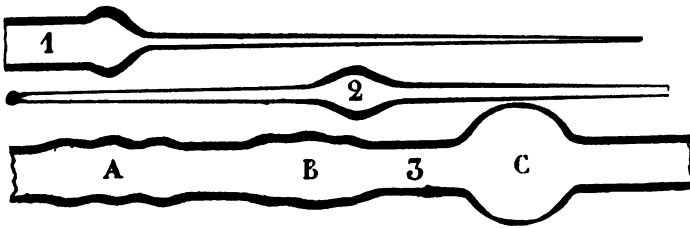


Abb. 16.

Sehr nervöse Leute, oder vielmehr solche, welche nicht genügend bewegliche Finger besitzen, werden sich niemals diese complicirten Bewegungen aneignen können; für solche ist ein weiterer Fortschritt in der Kunst des Glasblasens unmöglich.

Will man eine etwas grössere Kugel ausblasen, so muss man Glas auf eine andere Art ansammeln (Abb. 16, s). Nachdem man an drei benachbarten Stellen in der bereits bekannten Weise Glas angesammelt hat (bei Abb. 16, s bis A), bläst man die Röhre an dieser Stelle leicht aus (Abb. 16, s bis B). Hierauf erwärmt man die Stelle B unter beständigem Drehen in einer breiten Flamme, lässt das Glas sich zusammenziehen und bläst, wenn bereits der ganze dicke Theil erwärmt ist, die Kugel zur gewünschten Grösse aus (Abb. 16, s bis C). Oftmals muss man während der Arbeit die erwärmte Stelle mehrmals ausblasen (indem man dieselbe aus der Flamme nimmt) und sich wieder zusammenziehen lassen, um eine gleichmässigeren Vertheilung der Glasmasse zu erzielen.

Ein leichtes Ausziehen der Röhre während des Ausblasens der Kugel verwandelt diese in ein längliches Rotationsellipsoid, während eine entgegengesetzte Bewegung eine rübenförmige, abgeplattete Kugel gibt. Durch zweckmässiges Ausblasen, Zusammenschieben und Auseinanderziehen kann man leicht auch weit complicirtere Ausblasungen erhalten, z. B. ein cylindrisches Thermometerreservoir aus dessen dickwandiger Röhre, wie wir übrigens im Capitel von den Thermometerrohren näher sehen werden. Sehr grosse Ausblasungen an Röhren werden mittelst Einlöthens von Röhrenstücken mit grossem Durchmesser erhalten. Hier sei übrigens noch bemerkt, dass man Glas bloss bei Röhren von guter Qualität ansammeln kann; schlechte Röhren entglasen hierbei.

### 8. Das Zusammenblasen oder Auseinanderschmelzen von Röhren.

Gut und dauerhaft kann man bloss Röhren von derselben Sorte aneinanderschmelzen, da dieselben in solchem Falle den nämlichen Ausdehnungscoefficienten besitzen. Sonst treten nach dem Erkalten der zusammengeschmolzenen Stelle solche grosse Spannungen auf, dass das Glas platzt. Daher nimmt ein Glasbläser zu einer werthvollen und verantwortlichen Arbeit stets Röhren von der nämlichen Sorte. Nur sehr kleine Flächen kann man ohne Gefahr aus verschiedenen Sorten zusammenlöthen; bei solchen kann an der gelötheten Stelle keine bedeutende Spannung entstehen. Oftmals jedoch, besonders bei Reparaturen, ist man genöthigt, verschiedene Sorten zusammenzuschmelzen. Man erwärmt dann die Löthung bis zum völligen Weichwerden, bläst dieselbe aus und lässt die gelöthete Stelle sich womöglich mehrere Male zusammenziehen. An der gelötheten Stelle entsteht dadurch eine Mischung der beiden Massen und es bildet sich eine Uebergangsliegirung von mittlerer Zusammensetzung, so dass nach dem Erkalten die Spannung die Grenze des Dauerhaftigkeitswiderstandes des Glases nicht übersteigt. Wenn die eine Glassorte bei einer weit niedrigeren Temperatur schmilzt, als die andere, so fällt ein Zusammenschmelzen sehr schwer;

jedoch kann man auch in diesem Falle recht gute Resultate erzielen, wenn man das Erwärmen auf die schwer schmelzbare Sorte concentrirt. Solche Röhren besitzen aber gewöhnlich so verschiedene Ausdehnungscoefficienten, dass die Verbindung fast immer, trotz aller Vorsichtsmaßregeln, während des Erkaltes zerfällt.

Zwei Röhren von fast gleichem Durchmesser kann man ohne Ausblasen auf folgende Art aneinanderschmelzen. Zuerst breitet man mit Hilfe einer der oben besprochenen Methoden die Ränder dieser Röhren so aus (Abb. 17,<sub>1</sub>), dass der Durchmesser des Randes den der Röhre um die doppelte Dicke der Wände übertrifft. Hierauf erwärmt man gleichzeitig die Ränder der beiden auf diese Art erhaltenen Trichter über der Spitzflamme bis zum völligen Weichwerden, stellt



Abb. 17.

dieselben ausserhalb der Flamme zusammen und drückt die Röhren gegeneinander (Abb. 17,<sub>2</sub>). Es erübrigt jetzt bloss, die gelöthete Stelle bis zum völligen Weichwerden zu erhitzen, was ein Zusammenziehen derselben zur Folge hat (Abb. 17,<sub>3</sub>) und hierauf, mittelst eines leichten Ausziehens der Röhre, den gewünschten Durchmesser herzustellen (Abb. 17,<sub>4</sub>). Eine solche Löthung ist genügend dauerhaft, besonders wenn man dieselbe langsam erkalten lässt; leider ist eine solche aber selten glatt und ohne Verdickung.

Gewöhnlich bläst man die bereits gelöthete Stelle aus, um die entstandenen Unebenheiten zu glätten, und breitet die Ränder vor dem Löthen bloss bei dickwandigen Röhren mit engem Lumen, etwa Thermometerröhren, aus, da bei solchen die innere Höhlung sonst leicht vollständig zuschmilzt oder nimmt diese Manipulation auch bei einer engen Röhre vor, um beide aneinanderzulöthende Theile mit gleichen Durch-

messern zu versehen. Will man eine breite Röhre mit einer engen zusammenlöthen, so zieht man erstere aus und schneidet dieselbe an derjenigen Stelle ab, an welcher der Durchmesser der breiten dem Diameter der engen Röhre gleich ist. Beim Ausziehen muss man gewöhnlich die Wände sich verdicken lassen.

Nachdem man gleichzeitig die betreffenden Enden der beiden Röhren, von denen die eine an dem freien Ende geschlossen sein muss, bis zum Weichwerden erwärmt hat, nähert man dieselben einander und drückt die Röhren ausserhalb der Flamme aufeinander. Es ist jedoch recht schwer, beide Theile so zusammenzustellen, dass deren geometrische Axen zusammenfallen; bei einer gewissen Gewandtheit kann man wohl noch diesen Fehler durch nachträgliches Verschieben des einen Stückes theilweise gut machen, doch bleiben hiervon unverfügbare Falten im Glase zurück und die Löthung wird dabei ungleichmässig.

Ohne die gelöthete Stelle erkalten zu lassen (was ein unvermeidliches Platzen zur Folge haben würde), erwärmt man dieselbe nochmals unter beständigem Drehen über der Spitzflamme, bis die Löthstelle vollkommen weich wird und sich zusammenzuziehen beginnt. Jetzt bläst man die gelöthete Stelle ein wenig stärker als erforderlich aus, bis die Wände derselben die Dicke der Röhrenwände annehmen (Abb. 17, 5). Bei Röhren von einem und demselben Durchmesser genügt ein einfaches Auseinanderziehen der Löthung, um derselben den Diameter der Röhren zu verleihen. Bei ungleichen Röhren dagegen muss man der gelötheten Stelle mittelst Ausblasens und Ausziehens die nöthige Form geben, wie die Arbeit dieses gerade verlangt. Ein unerfahrener Arbeiter erhält hierbei undeutliche Formen mit zu sehr verschwommenen Uebergängen von einer Krümmung zur anderen. Die Ursache hiervon liegt darin, dass ein solcher Arbeiter nicht versteht, eine und dieselbe Stelle der Röhre zu erwärmen. Während des Drehens mittelst der Finger bewegt sich die Röhre ein wenig vor- und rückwärts in der Richtung der eigenen Axe, woher zu beiden Seiten der erweichten Stelle sich breitere halbweiche Theile bilden, als solche in Folge der unausbleiblichen Wirkung der Wärmeleitung des

Glases eventuell entstehen könnten; diese Theile geben dann beim Ausblasen ebenfalls nach. Man muss freilich, um dieses zu vermeiden, nicht etwa in's entgegengesetzte Extrem verfallen. Wenn man nämlich über einer „zu scharfen Flamme“ arbeitet, d. h. bloss einen sehr kleinen Theil erweicht, so erhält man zwar eine recht hübsche Arbeit, doch platzt eine solche sehr leicht neben der bearbeiteten Stelle, in Folge des zu jähen Ueberganges von dem erhitzten Theile zum kalten. Dieses Platzen kann man jedoch leicht durch Erwärmen und langsames Abkühlen der ganzen Arbeit verhindern; allerdings muss dieses unmittelbar nach beendigter Arbeit geschehen. Eine Löthstelle ist dauerhaft, wenn dieselbe keine bedeutenderen Verdickungen besitzt; im entgegengesetzten Falle muss man die gelöthete Stelle sorfältigst anlassen, da dieselbe sonst leicht von selbst platzt. Es ist empfehlenswerth, eine jede Löthstelle der Vorsicht halber langsam abzukühlen.

Ein Unerfahrener wird leicht von den oben angeführten Regeln abweichen; er erhält dann eine schlechte Löthung, die aber doch hält, während beim Verfahren nach allen Regeln der Kunst überhaupt nichts herauskommt, wenn man seiner Hände nicht Meister ist. Sind nämlich beide Röhren bereits vereinigt, so muss man eine ungefähr ein Viertel des Umfanges betragende Stelle bis zum völligen Weichwerden und anfänglichen Zusammenziehen des Glases erhitzen und hierauf diese Stelle vorsichtig so ausblasen, dass dieselbe den Durchmesser der Röhre annimmt. Hierauf unterwirft man die übrigen drei Viertel derselben Procedur. Die nicht bis zum völligen Weichwerden erwärmten Theile der Röhre behalten selbst in unerfahrenen Händen die frühere Gestalt und erleichtern dadurch wesentlich die Arbeit. Die unumgängliche Vorbedingung eines erfolgreichen Zusammenlöthens von Röhren ist eine Spitzflamme von entsprechender Stärke; eine zu breite Flamme erwärmt nämlich auch die angrenzenden Theile, wodurch die Arbeit die Form verliert.

## 9. Das seitliche Anschmelzen einer Röhre an eine andere.

Zuerst muss man die Röhre, an welche eine andere angelöthet werden soll, mit einer Oeffnung an der betreffenden



Stelle versehen. Dieses geschieht folgendermassen. Indem man das eine Ende der Röhre schliesst, erwärmt man über der Spitzflamme diejenige Stelle, an welcher die Röhre geöffnet werden soll, wobei man bemüht sein muss, die Röhre symmetrisch in Bezug auf die Flammenaxe zu halten. Hat man auf diese Art eine nicht zu grosse kreisförmige Stelle der Oberfläche so weit erhitzt, dass dieser Kreis sich einzuziehen beginnt, so nimmt man die Röhre aus der Flamme und bläst in dieselbe hinein; es entsteht dann eine Warze, wie Abb. 18,<sub>1</sub> zeigt. Der äusserste Punkt dieser Warze wird nochmals erwärmt; dank der hervorragenden Form derselben geht das Erhitzen schneller von statten und beschränkt sich auf die kleinste Oberfläche; mittelst eines neuen Aufblasens erhält man eine der Abb. 18,<sub>2</sub> ähnliche Warze. Die

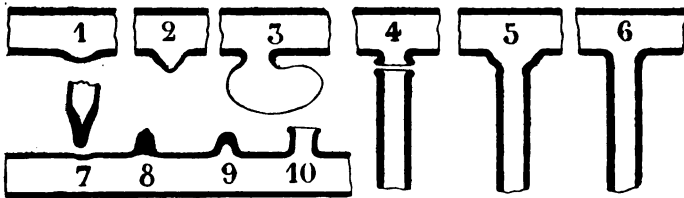


Abb. 18.

Spitze dieser neuen, weit stärker hervorragenden Warze erwärmt man bis zum völligen Weichwerden und bläst einen recht starken Luftstrom in dieselbe (Abb. 18,<sub>3</sub>); entweder erhält man eine grosse, dünne, unregelmässige Blase, oder es zerfällt das Glas mit Knall in äusserst dünne Blättchen, welche die lebhaften Töne der Newton'schen Farbenringe zeigen<sup>1)</sup>. In beiden Fällen erhält man nach Entfernung der dünnen Theile eine Oeffnung mit scharfen Rändern (Abb. 18,<sub>4</sub>),

<sup>1)</sup> Man muss ein Eindringen dieser Glastheilchen in die Augen durchaus verhindern, da ein Entfernen derselben sehr schwer hält. Diese äusserst dünnen Splitter werden übrigens von Konditoren zur Anfertigung von künstlichem Schnee benutzt und recht gut bezahlt; aus diesem Grunde sammeln die Glasbläser diese Blättchen sorgfältigst.

welch letztere in der Blasetischflamme abgeschmolzen werden können. Indem man im Abschmelzen fortfährt, kann man die Ränder sich vollständig einziehen lassen und dadurch eine Oeffnung ohne hervortretende Ränder erhalten; solche Oeffnungen sind manchmal erforderlich.

Will man eine Röhre seitlich anlöthen, so ist ein hervorragender Rand durchaus nöthig. Um im Arbeiten fortfahren zu können, schliesst man auch das andere Ende der Röhre; die Oeffnung der anzulöthenden Röhre kehrt man, wenn nöthig, auswärts oder verringert dieselbe, falls dieses erforderlich sein sollte. In beiden Fällen sorgt man dafür, dass der Durchmesser der Röhrenöffnung dem Diameter der abgeschmolzenen Ränder der seitlichen Oeffnung entspricht (Abb. 18, 4). Hierauf erwärmt man gleichzeitig beide zusammenschmelzenden Ränder und stellt dieselben ausserhalb der Flamme zusammen. Soll diese Operation Erfolg haben, so müssen die Ränder auf einmal zusammenhaften und es dürfen keine Oeffnungen zurückbleiben. Hiervon überzeugt man sich, indem man sogleich nach dem Zusammenstellen, bevor noch das Glas erkaltet ist, Luft in die Röhre hineinbläst; wenn wirklich keine Oeffnung vorhanden ist, so muss die Löthung sich ein wenig ausblasen (Abb. 18, 5). Ist die seitliche Oeffnung einer cylindrischen Röhre im Verhältniss zu deren Durchmesser ein wenig gross gerathen, so erhält man eine Oeffnung mit unebenen Rändern; wenn zudem noch der Rand der anzulöthenden Röhre ungleichmässig abgeschnitten ist, so bleibt beim Zusammenstellen der zu löthenden Ränder sehr oft eine Oeffnung zurück. Um diesen Fehler gut zu machen, muss man die Löthstelle nochmals rundherum erwärmen und die Oeffnung durch Aufdrücken und Neigen der angelötheten Röhre irgendwie verschliessen. Man kann sogar die Oeffnung mit Hilfe des geschmolzenen Endes eines Glasstabes verkleben; gewöhnlich verliert aber hierbei die Arbeit die regelmässige Gestalt und die Löthung nimmt eine unschöne Form an.

Wenn man die Arbeit sogleich nach Vornahme der eben beschriebenen Manipulationen erkalten lässt, so ist ein Auseinanderfallen derselben unvermeidlich. Damit die Löthstelle dauerhaft werde, muss man dieselbe ordentlich durchschmelzen.

Zu diesem Zweck erwärmt man, ohne die Arbeit zu drehen, ein Viertel des Löthungsumfanges bis zum Weichwerden und bis das erwärmte Viertel sich zusammenzieht, und bläst dann den weichen Theil ein wenig stärker als erforderlich auf. Hierauf nimmt man dieselbe Manipulation mit den anderen drei Vierteln des Umfanges vor. Eine dermaßen ausgeblasene Löthstelle wird von selbst nicht auseinanderfallen, besitzt aber die gewünschte Form noch nicht (Abb. 18, 6). Um diese zu erhalten, muss man das Glas rund um die gelöthete Stelle nochmals über der Spitzflamme erwärmen, damit das Glas sich zusammenzieht, wo dies gerade erforderlich ist, hierauf die gelöthete Stelle mässig ausblasen und die seitlich angeschmolzene Röhre ein wenig ausziehen. Nach Beendigung dieser Arbeit muss man die Löthstelle durchaus anlassen, indem man dieselbe so lange in der Flamme hält, ohne letzterer Luft zuzuführen, bis das Glas beruht, worauf man dann die zusammengeschmolzene Stelle an einem vor Zugwind geschützten Orte endgiltig erkalten lässt.

Um eine regelmässige Arbeit zu erhalten, ist es am besten, eine Oeffnung mit einem kleineren Durchmesser, als derjenige der anzuschmelzenden Röhre, entstehen, die Oeffnung der Röhre dagegen sich zusammenziehen zu lassen und erst die fertige Löthstelle auszublasen, um den gewünschten Diameter herzustellen. Beim Zusammenschmelzen im allgemeinen, besonders aber beim seitlichen Anlöthen einer Röhre, muss die Blasetischflamme möglichst spitz und nicht zu gross sein, so dass dieselbe gerade zum Durchwärmen der Löthstelle ausreicht. Sonst wird zu viel von dem Glase auf einmal erwärmt und man erhält eine unaccurate Arbeit.

Oftmals muss man eine Röhre, eine Kugel oder auch ein Kochfläschchen mit einem kurzen Röhrrchen (Tubulus) an der Seite versehen. Dies kann man zu Stande bringen, ohne ein Röhrenstückchen anzulöthen. Man erwärmt zuerst das Ende eines Glasstabes von entsprechendem Durchmesser bis zum Weichwerden, erhitzt hierauf, ohne dieses Ende erkalten zu lassen, diejenige Stelle des Gegenstandes, an welcher man das Röhrrchen anbringen will und legt das Ende des Glasstabes an diese erweichte Stelle (Abb. 18, 7). Hierauf erwärmt man ein etwas grösseres Stück des Glasstabes und zieht

letzteren ab. An dem Gegenstand bleibt ein angeschmolzenes kleineres oder grösseres Stück des Stabes zurück (Abb. 18,<sub>8</sub>). Ohne dieses erkalten zu lassen, erwärmt man das Stückchen bis zum Weichwerden und bläst dasselbe aus (Abb. 18,<sub>9</sub>). Hierauf erhitzt man bloss das äusserste Ende des entstandenen Vorsprungs und bläst letzteren noch stärker auf. Indem man im Erwärmen und Aufblasen fortfährt, kann man dem Röhrchen die gewünschte Länge geben. Darnach öffnet man dasselbe und schmilzt die Ränder in der bereits früher besprochenen Weise ab (Abb. 18,<sub>10</sub>).

### 10. Doppelte Lötungen.

Der Ausdruck „doppelte Lötungen“ bezeichnet die Vereinigung zweier concentrischen Röhren mit einer dritten (Abb. 19,<sub>1</sub>). Vor dem Zusammenlöthen kann entweder die innere, dünnere Röhre die Fortsetzung der einen breiten sein (Abb. 19,<sub>2</sub>), oder die äussere Röhre ein Ganzes bilden, so dass die innere hineingelötet werden muss (Abb. 19,<sub>3</sub>). Im ersten Falle muss man die innere Röhre mit einem starken ringförmigen Wulst versehen, da sonst während der Arbeit eine unerwünschte seitliche Berührung und ein seitliches Zusammenschmelzen der beiden concentrischen Röhren stattfinden kann.

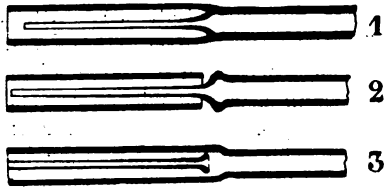


Abb. 19.

Um eine solche Verdickung zu erhalten, muss man die Röhre unter beständigem Drehen mit der Spitzflamme erhitzen und dieselbe zugleich von Beginn der Erwärmung längs der Axe an leicht zusammendrücken. Diese Verdickung muss man durch äussere Kraft erzeugen, bevor noch das Glas völlig weich geworden ist. Der durch die Cohäsion entstandene Wulst würde eine zu stark abgerundete Form annehmen, während die schon stark erweichte Röhre durch äusseren Druck zu leicht die Gestalt verlieren könnte. Man muss besonders darauf achten, dass die Axen der beiden Röhrenhälften ihre ursprüngliche Lage beibehalten, d. h. zusammenfallen. Nachdem man die

gewünschte Verdickung erhalten hat, ist es am besten, im Arbeiten fortzufahren, ohne diesen Wulst erkalten zu lassen, da dieser bei erneutem Erwärmen leicht platzen könnte. Das Ende der äusseren Röhre und der Umfang der Verdickung werden nun gleichzeitig erwärmt und zusammengesetzt. Hierauf muss man die Arbeit sofort ausblasen, zuerst von dem Ende aus, an welchem die Röhre doppelt ist, und sodann vom anderen Ende. Wenn die innere Röhre die äussere ein wenig an Länge übertrifft (wie dieses bei Thermometern mit in der äusseren Röhre eingeschlossenen Skalen der Fall ist), so schliesst man das Ende der ersteren so, dass man von beiden Enden aus blasen kann. Ist dagegen die innere Röhre kürzer als die äussere (z. B. bei Bunsen's Vorrichtung zum Zurückhalten von Luftblasen bei Barometern), so muss man das Ende der einen Röhre schliessen. Der Druck der vom entgegengesetzten Ende hineingeblasenen Luft wird sich dann zu beiden Seiten der Löthstelle fortpflanzen. Soll die doppelte Löthung dauerhaft sein, so muss man dieselbe etwa zwei Mal ausblasen und sich dann zusammenziehen lassen. Zuletzt muss die Löthstelle sorgfältig angelassen werden. Zu diesem Zweck stellt man gewöhnlich die Luftzufuhr in den Brenner ein und hält die Arbeit in den oberen Theil der rufsenden Flamme. Bevor noch das Glas seine Glühhitze verloren hat, setzt sich der Rufs bloss an den angrenzenden, kalten, nicht bearbeiteten Theilen ab. Wenn aber bereits der ganze Gegenstand beruht ist, so hält man denselben noch eine Weile über die Flamme, legt dann die Arbeit auf einen trockenen Lappen oder auf Watte und deckt den Gegenstand mit dem gleichen Material zu. Natürlich muss hierbei das Glas bereits in solchem Mafse abgekühlt sein, dass ein Inbrandgerathen der Watte durchaus unmöglich ist.

Verlangt die Arbeit ein noch sorgfältigeres Anlassen, z. B. wenn ein der Wirkung des Feuers ausgesetzt gewesener Theil geschliffen werden soll, so macht man ein mit recht heisser Asche gefülltes Gefäss zurecht. Die Arbeit wird hierauf nochmals in der rufsenden Flamme oder in dem nicht leuchtenden Ende der breiten Blasetischflamme nahe bis zum Weichwerden erhitzt und in diesem Zustande in heisse Asche

vergraben. Nun stellt man das Gefäss in einen eben geheizten Stubenofen, bedeckt dasselbe mit glühenden Kohlen und lässt Gefäss sammt Gegenstand bis zum folgenden Tage bei geschlossenem Ofenrohr stehen.

Im zweiten Falle, d. h. wenn die äussere Röhre ein Ganzes bildet und die innere hineingelöthet wird (Abb. 19, s), verfährt man fast ebenso wie im ersten. Der Rand der inneren Röhre wird, wenn dieselbe ziemlich breit ist, ausgebreitet oder mit einem Trichter versehen, welchen man erhält, indem man eine Kugel ausbläst und sie öffnet. Die zu löthende Stelle der äusseren Röhre erhält dagegen eine Einschnürung, so dass der trichterförmige Rand der inneren Röhre die Wände der äusseren unmittelbar berührt. Ist die innere Röhre länger als die äussere, so klebt man erstere, um eine Veränderung der Lage derselben während der Arbeit zu verhindern, mit Wachs an. Wenn dagegen die innere Röhre kurz ist, so leistet beim Halten derselben die Schwerkraft gute Dienste. Man braucht nämlich in solchem Falle bloss das die dünne Röhre umschliessende Ende beständig in die Höhe halten, bis der Process des Anschmelzens vollzogen ist. Die Schwerkraft macht sich ebenfalls beim Geradebiegen einer Röhre, die bestrebt ist, während der Arbeit die Wände der äusseren Röhre zu berühren, nützlich.

Ich weise hier nochmals darauf hin, dass doppelte Löthstellen sehr oft platzen; man muss dieselben daher gut durchschmelzen, mehrmals ausblasen und sich zusammenziehen, sowie nach Beendigung der Arbeit sehr gleichmässig und langsam abkühlen lassen.

## 11. Das Einlöthen von Platindrähten.

Der Ausdehnungscoefficient des Glases hängt von dessen Zusammensetzung ab. Weiches französisches Bleiglas und farbiges, sogenanntes Rubinglas besitzen einen dem Ausdehnungscoefficienten des Platins gleichkommenden Coefficienten; daher lässt sich dieses Metall sehr gut mit diesen beiden Sorten zusammenschmelzen. Auch in gewöhnliches Glas kann man Platin einschmelzen, doch platzt die Löthstelle gleich nach dem Erkalten oder nach einiger Zeit. Es gelingt

manchmal, äusserst dünne Platindrähte selbst in gewöhnliches Glas einzulöthen; will man dagegen dieses mit dickeren Drähten vornehmen, so muss man eine Uebergangsschicht von Blei- oder Rubinglas sich bilden lassen<sup>1)</sup>.

Die Arbeit geht folgendermassen vor sich. Zuerst schneidet man ein Stück Platindraht ab, biegt, falls man dies für nöthig erachtet, ein Oehrchen zurecht und schmilzt das

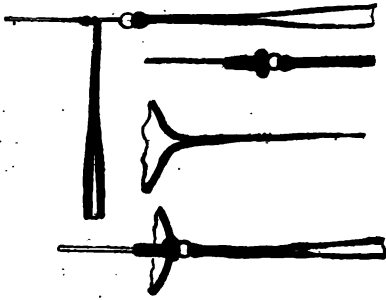


Abb. 20.

äussere Ende des letzteren an eine Handhabe (Abb. 20), deren Ende man in einen Faden ausgezogen hat. Hierauf zieht man ein Stück Glas, welches ein Zusammenschmelzen mit Platin verträgt, zu einem ziemlich dicken Faden aus, erhitzt das Ende desselben und diejenige Stelle des Drahts, welche man ein-

löthen will, legt den Glasfaden an den Platindraht und dreht letzteren um die eigene Axe, indem man im Erwärmen über der Oxydationsflamme fortfährt, um ein Schwarzwerden des Bleiglasses zu verhüten. Auf diese Art bildet sich um den Draht ein Glasreifen. Oftmals dreht man um den Draht, um die Berührungsoberfläche des Glases mit dem Platin zu vergrössern, noch eine cylindrische Hülle aus demselben Glas.

Wenn man Platin seitlich in eine Röhre oder ein Gefäss einlöthen muss, so macht man im betreffenden Gegenstand eine Oeffnung an der Stelle, an welcher das Einlöthen statt-

<sup>1)</sup> In letzterer Zeit verkauft man in St. Petersburg stählerne Stecknadeln mit schwarzen Emailköpfen. Die Couverts, in welchen dieselben in den Handel gelangen, tragen die Aufschrift: „Steelmourning pins“ und als Fabrikmarke ein Hufeisen. Mit Hilfe von solchen Stecknadelköpfen kann man Platin und selbst Eisen in Glas einlöthen, doch bedarf diese Behauptung noch einer Bestätigung, obgleich die ersten Versuche von mir während der Drucklegung dieses Buches ausgeführt wurden und die Löthstellen bis jetzt halten. Das Email der Köpfe ist sehr leicht schmelzbar, dabei aber spröde.

finden soll, indem man das Glas über der Spitzflamme bis zum Weichwerden erhitzt, das erwärmte spitze Ende eines zugeschmolzenen Röhrchens anlegt und letzteres auszieht. Es erübrigt nun noch, den ausgezogenen Theil dicht an der Oberfläche abzuschneiden, den bereits präparirten Draht in die auf diese Weise entstandene Oeffnung einzustellen und den Rand des Ringes mit den Wänden gründlich zusammenzuschmelzen, indem man das Glas ausbläst und dasselbe sich mehrmals zusammenziehen lässt. Hierzu soll man durchaus nur die Oxydationsflamme verwenden, da das Bleiglas sonst in Folge der Reduction des Bleies schwarz wird und dann mit Platin nicht zusammengelöthet werden kann. Nach Beendigung der Arbeit kühlt man den Gegenstand sorgfältig ab und bricht die Handhabe weg.

Je dicker das Platin, desto schwerer fällt es, dasselbe so einzulöthen, dass die Löthung nicht nachträglich platzt. Wenn der Draht irgendwo gewöhnliches Glas berührt und an solches angeschmolzen wird, so platzt dasselbe auf jeden Fall nach dem Erkalten.

Manchmal muss man in eine Röhre eine Glasspitze einlöthen, um letztere mit der Oberfläche von Quecksilber in Berührung zu bringen, zwecks genauer Feststellung des Niveaus desselben. Zu diesem Zweck öffnet man die Röhre an der betreffenden Stelle, steckt die bereits präparirte Spitze hinein und verfährt weiter ganz so wie beim Einlöthen von Platindrähten.

## 12. Arbeiten aus Glasstäben.

Ein Glasbläser von Profession hat selten mit compacten Glasstäben zu thun. In der Praxis des Experimentirenden kommt es aber recht oft vor, dass aus solchen verschiedene Stützen angefertigt werden müssen. Besonderer Handgriffe bedürfen solche Arbeiten, mit einziger Ausnahme des seitlichen Anlöthens, freilich nicht. Eine Röhre braucht man beim seitlichen Anlöthen einer anderen bloss an dem einen Ende zu halten, da nur die eine Seite derselben bis zum Weichwerden erhitzt wird. Dagegen wird ein Glasstab durch und durch erwärmt, und es macht sich, wenn man ein Biegen desselben verhindern will, das Fehlen einer dritten Hand be-



merkbar. Diesen Uebelstand im gegebenen Falle abzustellen, fällt indess nicht schwer. Gewöhnlich biegt man den Stab an der Stelle, an welcher die Löthung vorgenommen werden soll, U-förmig zusammen, so dass die beiden freien Enden desselben mit einer Hand gehalten werden können. Nach dem Zusammenlöthen muss man den Stab entweder wieder gerade machen oder anders biegen, wie es die Arbeit gerade verlangt. Wenn die Glasstäbe recht dick sind, so muss man beim anfänglichen Erwärmen sehr vorsichtig sein und nach Beendigung der Arbeit dieselben recht sorgfältig abkühlen.

In dieses Kapitel gehört auch die Anfertigung folgender venezianischer Glaszierrathen. Man schneidet aus gewöhnlichem Fensterglas mittelst des Diamanten Streifen, deren Breite ungefähr der Dicke gleichkommt. Einen solchen Streifen erwärmt man bis zum Weichwerden, dreht oder zwirnt vielmehr denselben zusammen und zieht den Streifen aus. Diese Arbeit kann man selbst über der Flamme einer gewöhnlichen Spirituslampe oder über glühende Kohlen verrichten. Die auf diese Weise erhaltenen Glasfäden mit schraubenförmiger Oberfläche blitzen im Lichte recht hübsch und besitzen ein ziemlich schönes Aeussere. Man kann aus diesen Fäden verschiedene recht hübsche Figuren, wie z. B. Spiralen und Wickeln, zusammenbiegen, indem man dieselben über der Flamme einer Lampe oder sogar im nicht rufenden Theile einer Kerzenflamme erweicht. Diese Zierrathen werden gewöhnlich auf Glasscheiben geklebt und dienen zum Schmücken von Kästchen und Schatullen. Diese Arbeit kann Kindern reiferen Alters zur Unterhaltung dienen. Die venezianischen compacten Glasperlen werden ebenfalls aus Stäben von gefärbtem, leicht schmelzbarem Glase angefertigt, und zwar folgendermassen. Der Arbeiter hält in der einen Hand einen schwach conischen Eisenstab, auf welchem eine dünne Lehm-schicht aufgetragen ist, um ein Haftenbleiben des Glases zu verhindern; die andere Hand ist mit einem Glasstabe versehen. Nachdem er das Ende des letzteren in der Blasetischflamme erweicht hat, beginnt der Arbeiter das Glas um den Eisenstab zu wickeln und dasselbe zu schmelzen. Er erhält eine nahezu kugelförmige Perle. Um dieser nun eine regel-

mäßige Form zu geben, rollt man sie zwischen einer festen und einer beweglichen Rinne aus Thon, wie dies beispielsweise die Apotheker mit den Pillen thun. Wenn bei dieser Arbeit die Perle so weit erkaltet ist, dass sie ihre Form von selbst nicht verändern kann, so erwärmt man geschwind die Oberfläche der Perle, um den durch die Berührung mit dem Thon verloren gegangenen Glanz wieder herzustellen. Hierauf trägt man manchmal noch auf die Oberfläche Verzierungen auf, indem man mit dem weichgemachten Ende eines Stabes aus noch leichter schmelzbarem Email darauf zeichnet.

Die Fäden, aus welchen die bekannten venezianischen Glasgewebe bestehen, werden auf folgende Weise hergestellt. Ein Arbeiter erwärmt auf dem Blasetisch das Ende eines Glasstabes und zieht denselben mit der Hand zu einem dünnen Faden aus. Ein anderer befestigt das Ende dieses Fadens an die Spule eines Haspels und dreht letzteren schnell mit Hilfe eines grossen Handschwungrades. Der Faden wird um so dünner, je schneller das Rad gedreht wird und je dünner der als Material dienende Glasstab ist.

Zu physicalischen Messungen, welche auf dem Vermögen einzelner Körper, sich zusammenzudrehen, beruhen, taugen solche Glasfäden wegen der zu bedeutenden elastischen Nachwirkung und der geringen Festigkeit recht wenig. Unlängst hat nun der englische Physiker C. V. Boys eine Methode zum Anfertigen äusserst dünner Fäden aus geschmolzenem Bergcrystall erfunden. Diese zu physicalischen Zwecken tauglichen Fäden werden nach Boys' Beschreibung folgendermassen hergestellt. Vor allem verfertigt man eine Armbrust, mit welcher man leichte, aus Strohhalmen bestehende Pfeile schiessen kann. Ferner muss man dem Brenner des Blasetisches, ähnlich wie dieses beim Drummond'schen Licht der Fall ist, reinen Wasserstoff und Sauerstoff zuführen, da Leuchtgas und Sauerstoff hierzu nichts taugen. Hierauf schmilzt man einige Stücke reinen, durchsichtigen Quarzes auf dem Ende einer Röhre aus feuerfestem Thon (man kann hierzu das Bruchstück einer holländischen Tabakspfeife benutzen), zieht dieselben zu Fäden aus und schmilzt das Ende einer anderen Thonröhre mit dem erweichten Quarz zusammen.

Den auf diese Art erhaltenen verhältnissmäßig dicken Faden klebt man mit Siegelack an den Armbrustpfeil und schießt, nachdem man die Mitte des Quarzfadens weich gemacht hat, die Armbrust ab. Der Pfeil zieht im Fliegen einen dermaßen dünnen Faden nach sich, dass man letzteren nur dann sehen kann, wenn man den Faden gegen eine starke Lichtquelle betrachtet, weil man so die durch denselben hervorgerufene Beugungserscheinung beobachten kann. Einen solchen Quarzfaden befestigt man an einem Apparat, indem man denselben mit einer dickflüssigen Lösung von Schellack in Alkohol festklebt.

## Die Anfertigung ganzer Apparate. Einige Hilfsarbeiten.

Alle bis hierher besprochenen Glasbläserarbeiten bezwecken bloss die Herstellung eines Rotationskörpers oder das Befestigen von Zugaben an der Oberfläche eines solchen, wobei die Zugaben senkrecht zu diesen stehen. Daher setzt ein Glasbläser beim Anfertigen von complicirteren Gegenständen die einzelnen Theile zu einer mehr oder weniger langen Reihe von Rotationskörpern mit gemeinsamer Axe zusammen, biegt dieselben hierauf, wie solches die Arbeit erfordert, und befestigt dann die seitlichen Zugaben. So giebt es z. B. Geissler'sche Röhren, welche die Gestalt von Guirlanden, Namenszügen und ähnlichen complicirten Figuren besitzen. Diese werden in der Form von geraden, oft zwei oder mehr Meter langen Röhren ausgeblasen und dann gebogen. Wenn man diese allgemeine Regel kennt (die natürlich, wie „alle Regeln“, nicht ohne Ausnahme ist), so fällt es nicht schwer, für jeden speciellen Fall eine entsprechende Reihenfolge der einzelnen Manipulationen selbstständig aufzustellen. Aus diesem Grunde soll hier bloss eine geringe Anzahl von Beispielen besprochen werden, und zwar von solchen, welche auf neue Handgriffe und neue Vorsichtsmaßregeln hinweisen.

**Einfache Zerstäuber (Pulverisatoren).** Zuerst versieht man mittelst Ausziehens beide Röhren mit Spitzen und schmilzt hierauf letztere zu. Die Oeffnung derjenigen Röhre, aus welcher die Luft austritt, muss die Oeffnung der anderen an Breite übertreffen; bei einem Zerstäuber von gewöhnlicher Stärke kann die Oeffnung der ersten Röhre 1—2 mm, diejenige der zweiten 0,5—1 mm breit sein. Je grösser die Oeffnungen, desto stärker die Wirkung; um so stärker muss

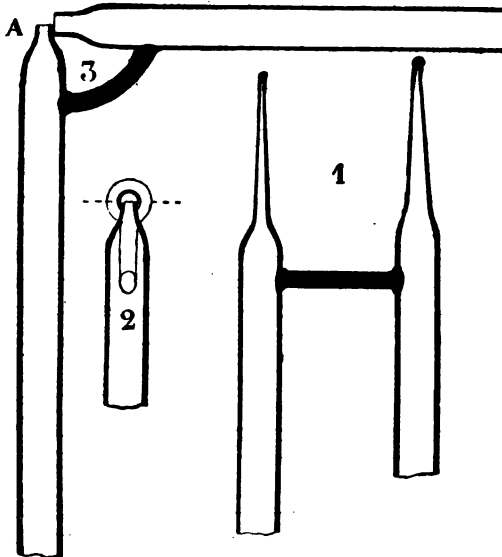


Abb. 21.

aber auch dann die Luft hineingeblasen werden. Nachdem man die Röhren zurecht gemacht hat, zieht man mit dem Messer Striche an den Stellen, an welchen man die Spitzen abzubrechen beabsichtigt, um Oeffnungen von dem gewünschten Durchmesser zu erhalten. Hierauf verbindet man die beiden Röhren durch einen angeschmolzenen Glasstab (Abb. 21, 1). Die Röhren müssen während dieser Operation einstweilen noch an dem einen Ende geschlossen sein, da ein Ausblasen der Lötstellen erforderlich ist. Nach dem

Anlöthen bricht man die Spitzen an den bezeichneten Stellen ab und egalisiert sie mit Hilfe einer mit Wasser benetzten Schlichtfeile, falls man beim Brechen schiefe Ränder erhalten haben sollte; hierauf schmilzt man, der Reinlichkeit halber, die Kanten ab. Soll der Zerstäuber gut wirken, so ist es unumgänglich, dass der Rand der für die Flüssigkeit bestimmten Öffnung glatt und die Ebene der Öffnung parallel der Richtung des Luftstromes ist. Haben beide Öffnungen eine regelmäßige Form angenommen, so erübrigt es bloss noch, den verbindenden Stab zu erwärmen und so zu biegen, dass die Röhrenaxen rechtwinklig zu einander stehen und die Enden der Röhren einander berühren, während die Ebene der für die Flüssigkeit bestimmten Öffnung den Querschnitt der horizontalen Röhre halbirt (Abb. 21, 2 und 3). Dabei darf der Rand A (Abb. 21, 3) auf keinen Fall höher sein als die an die horizontale Röhre stossende Kante, da sonst die Luft in die verticale Röhre eindringen und das Niveau der Flüssigkeit (in der Röhre) niedriger machen würde, statt durch ihre Bewegung die Flüssigkeit mit sich zu reissen.

**Pulverisatoren mit einer Vorrichtung zum Heraus-schleudern der Flüssigkeit.** Im einfachen Zerstäuber geht

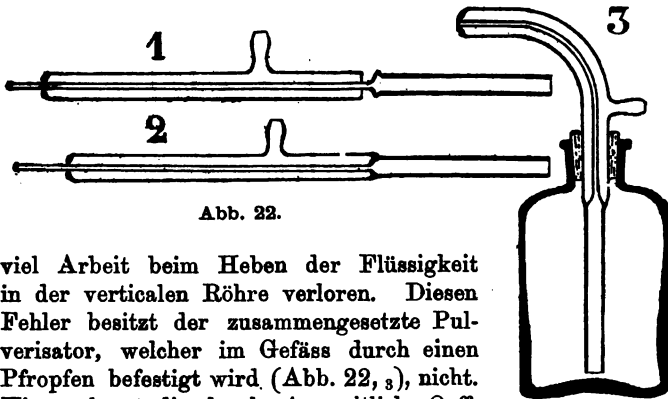


Abb. 22.

viel Arbeit beim Heben der Flüssigkeit in der verticalen Röhre verloren. Diesen Fehler besitzt der zusammengesetzte Pulverisator, welcher im Gefäss durch einen Pfropfen befestigt wird (Abb. 22, 3), nicht. Hier gelangt die durch eine seitliche Öffnung hineingeblasene Luft in das Gefäss mittelst einer anderen seitlichen Öffnung und würde ein ununterbrochenes Ausströmen der Flüssigkeit bewirken, wenn nicht die aus der

concentrischen, ringförmigen Öffnung zwischen der inneren Röhre und den Wänden der äusseren austretende Luft die Flüssigkeit zerstäuben würde.

Einen solchen Pulverisator aus Glas anzufertigen, hält bereits recht schwer. Zuerst zieht man eine Röhre aus, schmilzt das ausgezogene Ende zu und umgiebt die Basis des letzteren mit einem Wulst (Abb. 22, 1). Hierauf präparirt man die äussere Röhre, indem man an dieselbe ein Röhrrchen seitlich anschmilzt und die Ränder am Ende der äusseren Röhre dermassen zusammenzieht, dass die innere Röhre genau in diese zusammengezogene Öffnung hineinpasst. Nun steckt man die innere Röhre in die äussere, verklebt das Ende der ersten mit Wachs und beendet die doppelte Löthung, indem man von beiden Enden nacheinander Luft hineinbläst. Man kann auch die seitlich angebrachte Röhre verschliessen und von oben hineinblasen. Nachdem man die äussere Röhre noch mit einer Öffnung versehen hat (Abb. 22, 2), erübrigt es bloss, den ganzen Apparat zu biegen (Abb. 22, 3) und das Ende der inneren Röhre so abzuschneiden, dass selbiges innerhalb der zusammengezogenen Öffnung der äusseren Röhre zu liegen kommt. Zu diesem Zweck muss man die innere Röhre vor dem Biegen leicht spannen; dieselbe tritt dann in Folge des Biegens ein wenig hervor. In dieser Stellung zieht man denn auch mit dem Glasmesser einen Strich, genau an der Wand der äusseren Röhre, worauf man die Röhre an dieser Stelle abbricht.

**Kugeln zur Bestimmung der Dampfdichte nach Dumas' Methode.** Dieses sind nicht allzu dünnwandige Kugeln mit einem Volumen von ca. 200 cem; sie befinden sich an den Enden von Röhren von etwa 5 mm Durchmesser. Bei dermassen dünnen Röhren ist ein Ansammeln von Glas unmöglich; daher bläst man diese Kugeln aus angeschmolzenen Stücken von Röhren mit etwa 3 cm Durchmesser und ca. 2 mm Wanddicke aus. Zuerst zieht man eine solche Röhre in eine Spitze aus, indem man hierbei die Wände sich verdicken lässt, und wiederholt diese Manipulationen an einem etwa 3 cm von der ersten Spitze entfernten Punkte der Röhre; man erhält auf diese Art ein zwischen zwei Spitzen eingeschlossenes Röhrenstück, wie

Abb. 23, <sub>1</sub> ein solches zeigt. Die eine Spitze wird zugeschmolzen, während man die andere nahe am dicken Theil abschneidet und mit dieser Seite an die dünnwandige Röhre anlöthet (Abb. 23, <sub>1</sub> und <sub>2</sub>). Hierauf erwärmt man, indem man die angelöthete dünne Röhre und die Spitze hält, die Verdickung und lässt letztere sich soweit zusammenziehen, dass man diesen dicken Theil in der breiten Flamme der Blasetischlampe vollständig erwärmen kann (Abb. 23, <sub>2</sub>). Man ent-

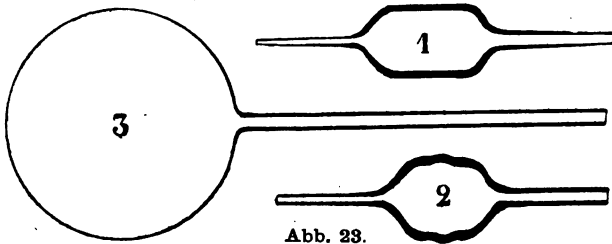


Abb. 23.

fernt nun die Spitze, rundet das zurückgebliebene Wärzchen ab, erwärmt den ganzen Gegenstand und bläst das Glas in einem Male so weit auf, dass die Kugel den gewünschten Durchmesser annimmt. Wenn die Glasmenge so gross ist, dass man dieselbe mit Hilfe einer Blasetischlampe allein nicht hinreichend erwärmen kann, so befestigt man der Blasetischlampe gegenüber ein grosses Stück Bimsstein oder Holzkohle. Dieses Stück wird durch die verloren gehende Wärme des Flammenendes glühend und befördert durch Wärmeabstrahlung wesentlich das Erhitzen des in Arbeit befindlichen Gegenstandes. Zum Erwärmen sehr grosser Objecte benutzt man zwei Brenner, die einander gegenüber aufgestellt werden.

**Geissler'sche Röhren.** Eine Geissler'sche Spectralröhre (Abb. 24) wird folgendermassen angefertigt. Zuerst zieht man aus einer Röhre von gewünschten Dimensionen die Theile 1 und 1' aus, löthet dieselben mit einem nicht zu engen Haarröhrchen 2 zusammen, giebt den Theilen die Form von 1 oder 1', schmilzt seitlich das Röhrchen 3 an und löthet endlich die Electroden 4 und 4' ein. Das seitlich angebrachte Röhrchen dient zum Füllen mit Gas resp. zum Verdünnen der Luft und wird hernach zugeschmolzen.

Vor dem Füllen einer Geissler'schen Röhre muss man dieselbe gründlich austrocknen, zu welchem Zweck man die Röhre bis zu  $300^{\circ}$  C. erhitzt und die Luft mehrmals auspumpt. Eine feuchte Röhre giebt das Spectrum des Wassers.

Manchmal versieht man Geissler'sche Röhren mit Aluminium-Electroden. Aluminium in Glas einzulöthen ist nicht möglich; man löthet in solchem Falle Platin ein. Letzteres bedeckt man nun mit Glas, mit Ausnahme des einen Endes, das aus dem Boden des Röhrchens hervorragt (Abb. 24, 4), welches man auf das Glas löthet, mit dem die wie oben präparirte Platin-Electrode bedeckt ist (Abb. 20). In dieses Röhrchen legt man ein Stück Aluminium, schmilzt dieses und steckt hierauf das Ende der Aluminium-Electrode hinein.

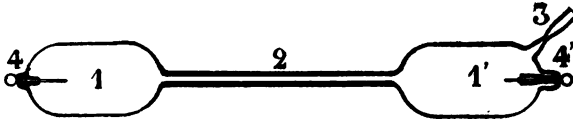


Abb. 24.

Nach dem Erkalten bildet das Aluminiumstückchen eine recht dauerhafte Verbindung zwischen dem Platin und der Electrode. Die auf diese Art hergestellte Electrode wird hierauf in der gewöhnlichen Weise eingeschmolzen.

In ornamentalen Geissler'schen Röhren trifft man oftmals ebene und Schraubenspiralen an. Solche zu biegen ist durchaus nicht so schwer, wie dies den Anschein hat; man muss nur die Arbeit stets an einem Röhrchen halten, welches in der Richtung der Axe der zu biegenden Spirale gebogen ist. So biegt man z. B. bei einer ebenen Spirale dieses Röhrchen anfangs unter einem rechten Winkel und dreht dasselbe hierauf so, dass dasjenige Ende, an welchem die Arbeit gehalten wird, von rechts nach links läuft, während das andere Ende sich horizontal, vom Arbeitenden weg, erstreckt. Nachdem man den zuletzt erwähnten Theil genau an der Biegung erwärmt hat, thut man, als wolle man denselben um dasjenige Ende der Röhre, welches die Richtung der Spiralexaxe besitzt, wickeln. Wenn man das Glas gleichmäÙig und nicht zu stark erwärmt, so wickelt sich die



Spirale ziemlich regelmässig auf. Natürlich benutzt man bei solchen Arbeiten verhältnissmässig dickwandige Röhren von 3 oder 4 mm Durchmesser. Eine Schraubenspirale biegt man auf ähnliche Art, doch fällt es bei einer solchen weit schwerer, eine regelmässige Form zu erhalten, besonders wenn der Spiraldurchmesser den Diameter der Röhre um ein Bedeutendes übertrifft. Man soll übrigens die Arbeit erleichtern können, wenn man die erweichte Röhre um einen Kohlen-, Thon- oder Kupfercylinder wickelt. Die beiden Enden der Spirale biegt man erst nach beendigter Arbeit zurecht.

**Apparate zur Filtrir- und Gas-Analyse. Herstellung von Theilungen auf Glas.** Es ist hier nicht der Ort, die Einrichtung und wissenschaftliche Begründung dieser Apparate zu besprechen. Es wird dieses in den Lehrbüchern in durchaus genügendem Mase behandelt; überdies bedarf die Herstellung solcher Apparate auf dem Blasetische keiner neuen Handgriffe. Eingehender besprochen zu werden verdient bloss das Auftragen von Theilungen auf Glas.

Bei provisorischen Theilungen und Vermerken kann man sich der Wachsstifte bedienen. Diese werden auf der bekannten Faber'schen Fabrik hergestellt und sind in den Zeichenmaterialien-Handlungen erhältlich. Da die Wachsstifte sehr weich sind, so eignen sie sich zum Auftragen dünner Striche recht wenig; ausserdem verlangen diese Stifte durchaus eine reine und vollkommen trockene Glasfläche und gleiten beim Schreiben auf einer feuchten Fläche einfach ohne Resultat ab. Will man Glasgefässe mit Aufschriften versehen, so kann man solche Wachsstifte selbst anfertigen. Man schmilzt 1 Theil Wachs zusammen mit 2 Theilen Lichtalg und schüttet hierauf so viel von irgend einem Farbstoff, z. B. Rufs, Zinnober oder Ocker hinzu, dass ein Pröbchen der erkalteten Masse gut schreibt. Um diesem Gemenge eine cylindrische Gestalt zu verleihen, giesst man dasselbe in Schilf- oder Pergamentpapier-Röhren. Handelt es sich um dünnere Striche und Aufschriften, so macht man solche mit Hilfe eines kleinen Marder-Pinsels, den man in mit Terpeninöl verdünnten, schnelltrocknenden Asphaltlack getaucht hat. Diese Pinsel werden gewöhnlich von Künstlern zur Oelmalerei

benutzt; sie sind genügend steif und bilden, wenn man sie in Farbe taucht und den Ueberschuss an letzterer entfernt, von selbst eine Spitze. Man kann zum Auftragen von Strichen mit Asphaltlack auch eine Reiss- (Zieh-) oder Stahlfeder benutzen; solche Theilungen können aber nur bei Apparaten angebracht werden, wo ein Verwischen derselben durchaus ausgeschlossen ist.

Mittelst eines Schreibdiamanten gemachte Striche und Aufschriften sind gewöhnlich sehr schwach sichtbar, man benutzt daher genanntes Instrument recht selten zu solchen Zwecken. Ein guter Glaserdiamant dagegen ruft einen Riss, nicht aber eine Schramme hervor, während ein Diamantsplitter, welcher keine regelmässige Gestalt besitzt, das Glas bloß ritzt und keinen Riss entstehen lässt. Die Breite, und überhaupt die Gestalt der Schramme hängt von der Neigung des Diamanten und von der Richtung desselben während des Schreibens ab; aus diesem Grunde sind denn auch solche, dazu noch aus freier Hand gezogene Striche durchaus nicht schön. Ein in den Schreibmechanismus der Theilmachine richtig eingestellter und gut ausgewählter Diamant giebt bei schwachem Andrücken ausgezeichnete Theilungen, doch sind dieselben leider äusserst schwach und können nur mit Hilfe eines Microscops abgelesen werden. Man kann allerdings mit Hilfe derselben Maschine weit gröbere Theilungen erhalten, wenn man mit dem Diamanten mehrere Male über eine und dieselbe Stelle fährt. Zur Anbringung von mittelstarken Theilungen, wie solche gewöhnlich erforderlich sind, taugt diese Methode aber nicht, da man Striche mit abgebröckelten Rändern erhält. Gewöhnlich ätzt man die Theilungen mit Hilfe von Flusswasserstoffsäure (Flusssäure), die man aber heutzutage nicht in gasförmigem Zustande benutzt, wie solches in alten Lehrbüchern der Chemie empfohlen wird, sondern als wässrige Lösung, welche bei den Droguisten in Guttaperchaflaschen käuflich ist. Diese Säure ruft, wenn dieselbe mit der Haut in Berührung gebracht wird, schwer heilende Wunden hervor; ein Verdunsten derselben während der Arbeit ist jedoch nicht zu befürchten.

Das Glas, welches geätzt werden soll, wird mit einer Wachsschicht oder mit einem Gemenge von Wachs, Ruß,

Terpentinöl und Mastix bedeckt. Das Verhältniss der einzelnen Bestandtheile dieses Aetzgrundes ergibt sich aus Versuchen. Da Wachs allein zu weich ist, so nimmt man noch Mastix und fügt endlich, um den Grund klebrig zu machen, Terpentinöl hinzu; bleiben aber die beim Herausschaben entstehenden Späne am Grunde haften, so versetzt man letztere mit Stearin. Um den Aetzgrund zu färben, gebraucht F. Müller Asphalt, welchen er mit dem Wachs vermischt. Da der Grund im Winter leicht spröde wird, so kann man zu demselben noch Talg hinzuthun. — Die Oberfläche des Gegenstandes wird sorgfältig gereinigt, dann bis zum Schmelzen des Aetzgrundes erwärmt und hierauf mit einem in ein Seidenläppchen gewickelten Stück des Gemenges bestrichen; der Grund schmilzt und gelangt in filtrirtem Zustande auf das Glas. Wenn man genügend von dem Aetzgrund aufgetragen hat, so erwärmt man den Gegenstand, um das Gemenge gleichmäÙig zu vertheilen; man muss hierbei darauf achten, dass die Schicht nicht allzu dick und dass sie ununterbrochen sei. Die Theilungsstriche werden hierauf mittelst einer im Schreibmechanismus einer Theilmaschine befestigten, nicht allzu scharfen Nadel angeschabt. Man kann die Aufschriften entweder mit Hilfe einer Gravirnadel aus freier Hand anbringen oder hierzu aus dünnen Kupferblättchen geschnittene Schablonen benutzen; letztere legt man auf den Aetzgrund und fährt mit der Nadel rings um die Schablone. Will man auch Zehner auftragen, so muss man hierzu besondere Schablonen benutzen, da es sehr schwer hält, zwei auf verschiedenen Schablonen befindliche Ziffern genau neben einander zu placiren<sup>1)</sup>. Nachdem man in dieser Art alles, was geätzt werden soll, ausgeritzt hat, überzeugt man sich davon, ob nicht etwa unnöthige Striche auf dem Grunde vorhanden sind; ist dieses der Fall, so verklebt man dieselben mit dem Aetzgrund, indem man mit einem heissen Metallstreifen über die betreffende Stelle fährt. Hierauf taucht man einen (in einen Federkiel, nicht in Metall gefassten) Aquarellpinsel in die Säure und fährt mit demselben über

<sup>1)</sup> Recht schöne Aufschriften erhält man vermittelt nach Art eines Pantographen eingerichteter Gravirmaschinen; leider geht die Arbeit langsam von statten.

den bearbeiteten Theil des Grundes. Die Dimensionen des Pinsels müssen denjenigen des zu ätzenden Theiles entsprechen; man streicht recht gleichmäÙig etwa 3 Minuten lang und wäscht hierauf den ganzen Gegenstand mit Wasser ab. Die Säure bleibt am Grund nicht haften, hält sich dagegen in allen in demselben vorhandenen Spalten und ätzt das Glas an diesen Stellen. Die Dauer des Aetzens bestimmt man durch Versuche; dieselbe hängt von der Stärke der Säure und von der gewünschten Tiefe der zu ätzenden Theilungen ab. Flüssige Flusswasserstoffsäure lässt eine glatte Oberfläche zurück, woher denn auch in solchem Falle die Striche schlecht sichtbar sind und man dieselben mit Farbe ausfüllen muss. Soll die Farbe gut halten, so müssen die Ränder der Vertiefungen steil und die Aetzung tief sein. Wenn man aber das Glas gar zu lange der Einwirkung der Säure aussetzt, so dringt dieselbe unter den aufgetragenen Aetzgrund und ätzt das Glas zu beiden Seiten der ausgeschabten Striche aus, so dass die Theilungsstriche flach und breit werden. Aus diesem Grunde beschleunigt ein Streichen mit einem weichen Pinsel das Aetzen wesentlich, indem es ein stetes Erneuern der Säure verursacht; es hängt hiervon der Erfolg der ganzen Arbeit ab.

Nach dem Aetzen wird der Grund mit Terpentinöl oder Benzin abgewaschen, worauf man den geätzten Theil mit einem klebrigen Lack (etwa Copal-, Terpentin- oder Vergolderlack, auch mit gekochtem Leinöl) überzieht; sodann streut man trockene Farbe (Rufs, Zinnober, Bleiweiss) darauf und entfernt den Ueberschuss an letzterer mittelst eines Büschelchens Watte oder trockenen Papiere so, dass die Farbe nur in den Vertiefungen zurückbleibt. Sollte dieselbe auch aus letzteren verschwinden, so muss man, bevor der Ueberschuss an Farbe entfernt wird, diese eintrocknen lassen. Mit dem Diamanten aufgetragene grobe Theilungen füllt man ebenfalls mit Farbe aus.

Bunsen theilt seine Apparate einfach in Millimeter und calibriert dieselben nachträglich. Zum Anfragen solcher Theilungen ist bloss eine Theilmaschine erforderlich. Gewöhnlich aber theilt man Büretten, Pipetten und verwandte Apparate in Theile von gleichem Volumen, um die Resultate mittelst

einfachen Ablesens, ohne Anwendung von Fehlertabellen, zu erhalten, obwohl diese Methode weit ungenauer ist, als die Bunsen'sche.

Handelt es sich um die Herstellung eines Literkolbens, so füllt man eine Kochflasche mit der erforderlichen Menge Wassers, dessen Volumen man durch Abwiegen bestimmt hat, und zieht einen Strich rings um den Kolbenhals in der Höhe des Flüssigkeitsniveaus. Soll ausserdem noch eine Aufschrift angebracht werden, so kann man diese ätzen. Die Stelle, an welcher der Strich gezogen werden soll, bezeichnet man vorläufig durch einen Streifen, den man mit Hilfe eines Pinsel zieht; handelt es sich um einen kreisförmigen Strich, so zieht man diesen folgendermassen. Man verkorkt den Hals des Kolbens und steckt in den Pfropfen ein Röhrchen mit rundgeschmolzenem Ende hinein, so, dass dieses genau die Lage der Axe des Kolbenhalses besitzt. Hierauf legt man die Kochflasche in ein passendes, rinnenförmiges Holz, während man das Röhrchen gegen einen festen Gegenstand stemmt; einem auf diese Art befestigten Kolben kann man damit eine gleichmässige rotirende Bewegung verleihen, wie dieses z. B. auf der Drehbank geschieht, und mit Hilfe einer Nadel um den Hals einen geschlossenen, ringförmigen Strich ziehen. Auf ähnliche Weise zieht man die Striche auf den Schwimmern der Büretten und wendet diese Methode überhaupt dort an, wo es sich um grosse Genauigkeit handelt. In allen anderen Fällen kann man einen Strich mit Hilfe eines Glasmessers, einer scharfen, feinen Feile oder eines Diamanten ziehen; entweder aus freier Hand, oder längs des Randes eines dünnen Metallplättchens, welches rund um den Hals gewickelt wird. Die Stelle des zu ziehenden Striches kann noch genauer bestimmt werden, wenn man das Plättchen durchsägt und dasselbe dann als Schablone benutzt.

Wenn man einen Cylinder in Cubikcentimeter oder Theile eines solchen eintheilen soll, so bedient man sich hierzu folgender Methode. Diejenigen Striche, welche je 10, 20 oder 100 ccm bezeichnen, bestimmt man durch Eingiessen einer abgemessenen Menge irgend einer Flüssigkeit, während man die Zwischenräume mittelst der Theilmaschine in gleich grosse

Theile theilt, wobei natürlich angenommen werden muss, dass die Röhre einem richtigen Cylinder unendlich nahe kommt. Da Wasser an den Wänden des Gefässes, aus welchem man dasselbe giesst, haften bleibt, so benutzt man bei genaueren Theilungen statt dieser Flüssigkeit Quecksilber. Man verfertigt in diesem Falle aus einer ziemlich dickwandigen Röhre ein Probirgläschen, giesst in dasselbe eine abgewogene Quantität Quecksilber, welche bei gegebener Temperatur das gewünschte Volumen einnimmt, vermerkt hierauf die Lage der Oberfläche und schneidet die Röhre in dieser Höhe ab. Hierauf schleift man die Ränder so ab, dass dieselben eine als Deckel dienende geschliffene Glasplatte genau berühren. Nachdem man dieses Glas so weit mit Quecksilber gefüllt hat, dass der äusserste Punkt der convexen Oberfläche die Ränder des Gläschens überragt, legt man den Deckel auf und drückt denselben an; das überflüssige Quecksilber fliesst ab, während die innere Höhlung der Röhre vollständig mit Quecksilber angefüllt wird. Hierauf wiegt man das Quecksilber von neuem und schleift die Ränder des Gläschens so weit ab, dass letzteres genau die erforderliche Menge Quecksilber fasst. Mit Hilfe eines solchen Mafses kann man in das zu theilende Gefäss gleiche Quantitäten Quecksilber eingiessen und dann die Höhe der Oberfläche derselben jedesmal vermerken. Man unterscheidet zwei Arten von Messgläsern: solche, welche anzeigen, wieviel von der Flüssigkeit ausgegossen ist, während man bei anderen Messuren ablesen kann, wieviel davon zurückgeblieben ist. Im ersten Falle thut es gut, wenn man die Striche in der Höhe des äussersten Punktes des Quecksilber-niveaus zieht, während man im zweiten Falle dieses in der Höhe von einem Drittel desselben vornehmen kann, da der Inhalt eines Kugelsegments gleich zwei Dritteln eines Cylinders von demselben Radius und gleicher Höhe ist.

Auf grossen, dickwandigen Messuren trägt man Striche und Aufschriften aus freier Hand mit einem Pinsel auf, und es schleift hierauf ein Glasschleifer dieselben mit Hilfe seiner mit Schmirgel versehenen Gravr-Scheibchen aus. Um die einzelnen Theilstriche zu bestimmen, giesst man in das Gefäss Wasser aus einem, als normal angenommenen Messcylinder.

**Geissler'sche Schiffe und das Schleifen des Glases überhaupt.** Zum Schleifen benutzt man Schmirgelpulver (d. h. eine besondere Art natürlicher, unreiner, cristallinischer Thonerde) oder auch Quarzsand. Doch ist nicht ein jeder Quarzsand brauchbar, da die Körnchen gewöhnlich unter dem Einfluss von fliessendem Wasser abgerundet sind, während zum Schleifen eckige Körner erforderlich sind. Daher schleifen gestossener Sandstein, Feuerstein oder Quarz weit besser als Sand. Wenn eckige Körner zwischen zwei aneinander geriebenen harten Flächen rollen, so nutzen erstere ein Wenig von diesen ab, wobei eine harte und spröde Fläche weit schneller abgerieben wird, als eine weiche und geschmeidige. Dieser Vorgang lässt sich folgendermassen erklären. Ein jedes Schmirgelkörnchen berührt die Fläche mit einer seiner scharfen Ecken, woher der Druck auf die Flächeneinheit im Berührungspunkte ausserordentlich gross ist, obgleich der zu schleifende Gegenstand schwach angedrückt wird, da die Berührungsebene sehr klein ist. Auf diese Weise wird das den Gegenstand bildende Material im Berührungspunkte zerstört, und eine jede Ecke des Körnchens ruft eine kleine Vertiefung hervor. Da nun die Anzahl der Schmirgelkörnchen sehr gross ist, so kann die Summe der stattfindenden Zerstörung recht bedeutend werden. In weichem und hämmerbarem Material ruft ein Schmirgelkorn unter gleichen Umständen zwar eine grössere Vertiefung hervor, doch trennen sich hierbei von dem Object sehr wenige Theilchen, woher denn auch z. B. Metall, auf welchem Glas geschliffen wird, sich weit schwächer abreibt, als letzteres. Die Schnelligkeit der Arbeit hängt von dem ausgeübten Druck ab. Drückt man schwach an, so rollen die Schmirgelkörnchen umher, ohne auf den Gegenstand zu wirken, während dieselben bei zu starkem Druck sich in das Material einfressen und viel zu wenig von diesem abreiben. Wie stark man andrücken muss, damit die Arbeit schnell von Statten gehe, das lehrt uns die Übung.

Das Resultat einer solchen Arbeit ist eine matte Fläche. Unter dem Microscop betrachtet, besteht dieselbe, vorausgesetzt, dass der zur Verwendung gelangte Schmirgel gut sortirt war, aus ungeheuer vielen nahezu gleich grossen

Grübchen. Wenn die Körner aber nicht frei rollen können, sondern etwa auf Papier aufgeklebt oder mittelst Cement zu einer Schmirgelscheibe oder zu einem Schleifstein verbunden sind, so nimmt die geschliffene Fläche ein ganz anderes Aussehen an; in diesem Falle ruft eine jede Ecke eine Schramme hervor. Verlaufen nun letztere nahezu parallel und sind dieselben nicht allzu breit und tief, so erhält man eine blitzende, polirte Fläche. Handelt es sich also um das Poliren einer Glasfläche, so schleift man dieselbe, indem man nach und nach immer feineren Schmirgel auf eine feste Unterlage schüttet und hierauf zum Schleifen ein noch feinkörnigeres Material (etwa Krokus oder Tripel) nimmt, das man auf eine weiche Unterlage, z. B. Tuch oder Papier, selbst Holz für gröbere Arbeit schüttet.

Ein Glasbläser, der, im Grunde genommen, recht wenig zu schleifen hat, kann ganz gut Schmirgel anwenden, der nicht feiner ist als Streusand, und ausserdem noch einige feinere Nummern. Gut sortirten Schmirgel von den feinsten Nummern zu erhalten, hält bei uns in Russland recht schwer, da die Nachfrage nach solchem äusserst gering ist; dagegen ist Schmirgel von solchen Nummern, wie sie ein Glasbläser brauchen kann, in den Magazinen, welche mit Zubehör für das Uhrmacherhandwerk handeln, erhältlich.

Am häufigsten kommt es vor, dass man die abgeschnittenen Ränder einer Röhre oder eines Gefässes abzuschleifen hat. Zu diesem Zweck verschafft man sich ein ziemlich grosses Stück alten, dicken Spiegelglases. Auf dieses schüttet man Schmirgel und feuchtet ihn mit Wasser an, worauf man den zu schleifenden Gegenstand auf der Platte reibt. Anfangs drückt man schwach auf, da eine Berührung bloss in einigen Punkten stattfindet, und verstärkt dann allmählich den Druck. Das Schleifen erzeugt zuerst ein durchdringendes Geräusch, doch wird dieses in dem Masse, in welchem die Schmirgelkörner sich abrunden und kleiner werden, schwächer, was darauf hinweist, dass man den Schmirgel mit einem feuchten Schwamm abwischen und durch neuen ersetzen soll. Man kann zu dem alten Gemenge auch einfach neuen Schmirgel hinzufügen, doch wird dadurch die Arbeit bloss verzögert. Die Ränder des Glases werden nach dieser



Operation Unebenheiten aufweisen, da unter dem Einfluss des Druckes kleine Glasstückchen abspringen, wenn die Kante eines Schmirgelnkörnchens das Glas nahe am Rande berührt. Dieses kann man wieder gut machen, indem man den grobkörnigen Schmirgel durch eine feinere Nummer ersetzt, nachdem die bedeutenderen Unebenheiten des Randes bereits geglättet sind. Ist eine minder accurate Arbeit erforderlich, so schleift man den Rand einfach zu einer Facette aus.

Weit schwerer hält es dagegen, zwei conische Flächen so zusammenzuschleifen, dass dieselben sich um einander

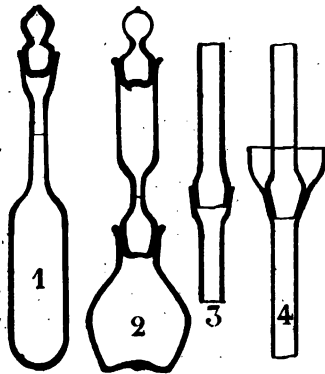


Abb. 25.

drehen können, ohne zwischen den sich berührenden Flächen Luft oder eine Flüssigkeit hindurchzulassen. Zu solchen Arbeiten gehören die Glasstöpsel, Glashähne und verschiedene „Geissler'schen“ Schiffe, d. h. Theile von Apparaten, welche zu Experimenten mit Gas dienen, z. B. einfache Pyknometer (Abb. 25, 1), Pyknometer für feste Körper (Abb. 25, 2), einfacher und Quecksilber-Verschluss von Geissler (Abb. 25, 3 und 4).

Ich bemerke hier gleich, dass man alle geschliffenen Glasflächen, welche sich aneinander reiben sollen, durchaus einschmieren muss, da dieselben nur in solchem Falle keine Gase und Flüssigkeiten hindurchlassen. Ausserdem passiert es auch, dass nicht eingeschmierte conische Flächen bei andauernder Berührung dermaßen zusammenkleben, dass man dieselben nicht mehr auseinander nehmen kann. Zum Einschmieren benutzt man eine Mischung von Wachs und gutem Olivenöl (welche beinahe mit der „Wachssalbe“ der Apotheker identisch ist, nur dass man in diesem Falle mehr Wachs nimmt), oder schmilzt auch Paraffin mit Vaseline zusammen, wobei dieses Gemenge sowohl, als auch die zuerst erwähnte Mischung etwa die Consistenz von Lichttalg besitzen muss. Eine solche Mischung muss bis zum vollständigen Erkalten

geführt und gerieben werden, da dieselbe nur in solchem Falle die nöthige Consistenz erhält. Damit in die Schmiere keine festen Theile gelangen, wodurch die unmittelbare Berührung der Flächen behindert und der Luft der Durchtritt erleichtert würde, lässt man dieselbe nach dem ersten Schmelzen in einem hohen Gefässe erkalten und benutzt zum Schmieren bloss die oberen Schichten. Soll eine geschliffene Verbindung zuverlässig sein, so müssen die obenerwähnten Grübchen der geschliffenen Flächen durchaus mit der Schmiere angefüllt sein. das Glas wird dann durchsichtig, und der matte Ton desselben verschwindet vollständig; Luftbläschen dürfen auch nicht vorhanden sein. Wenn sich nun bei einem Glashahn in der Höhe der Oeffnung ein schmutziger, lufthaltiger Ring bildet, so ist der Hahn bereits nicht gut brauchbar; man muss denselben reinigen und von neuem einschmieren. Durch Bewegung kann ein luftdicht schliessender Hahn oder Stöpsel sehr leicht diese Eigenschaft verlieren. Aus diesem Grunde ist denn auch die auf Abb. 25, 4 sichtbare Quecksilberverbindung oben mit einer Erweiterung versehen, welche mit Quecksilber oder mit einer anderen Flüssigkeit angefüllt wird. Bei einer solchen Einrichtung wird unter dem Einfluss des äusseren Druckes in den Apparat nicht Luft, sondern die betreffende Flüssigkeit eindringen. Wenn ein eingeschliffener Stöpsel oder Schliff sich nicht leicht auseinandernehmen lässt, so muss man denselben von aussen über der breiten, rufsenden Blasetischflamme schnell erwärmen. Manchmal platzt dann das Glas, gewöhnlich aber dehnt sich der äussere, schneller warm werdende Kegel so aus, dass der Schliff sogleich nach dem Erwärmen ohne Mühe auseinandergenommen werden kann. Gewöhnlich sieht man, ob man seine Zuflucht zu so rigorosen Mitteln nehmen muss, oder ob das Glas bloss in Folge von Crystallisation der in der Flüssigkeit enthaltenen Salze oder durch Austrocknen der Schmiere zusammengeklebt ist. In solch einem Falle muss man die Verbindung entweder in Wasser weichen lassen, oder dieselbe bis zum Schmelzen der Schmiere vorsichtig erhitzen.

Auf dem Blasetische Theile für Schliffe herzustellen, fällt, mit Ausnahme von hohlen Krahen, deren Anfertigung bloss Specialisten gelingt, nicht besonders schwer. Erforderlich

ist vor allem ein sorgfältiges Anlassen der Arbeit, da dieselbe sonst platzt, sobald die äussere Schicht der Oberfläche durch Schleifen zerstört ist. Compacte Pfropfen zieht man aus Stäben aus; um dieselben mit einem flachen Kopf zu versehen, lässt man eine massive Kugel weich werden und plattet diese mit einer reinen Flachzange ab. Hierauf kann man durch schnelles Erwärmen den bei der Berührung mit dem Metall verloren gegangenen Glanz der Oberfläche wieder herstellen. Flache, hohle Köpfe werden zwischen zwei in der Art einer Pincette vereinigten Messingplatten ausgeblasen.

Nachdem man den Hals und einen mit dem Ende in diesen passenden Stöpsel auf dem Blasetisch hergestellt hat, kann man den Stöpsel gleich mit Hilfe von Schmirgel und Wasser einschleifen. Auf diese Art erhält man jedoch höchst selten ein gutes Resultat. Zuerst weicht die Gestalt der beiden aneinander geriebenen Flächen stark von der Form eines Kegelmantels ab; während der Arbeit werden jedoch die hervorragenden Theile stärker abgerieben. Da solche aber auf beiden Flächen vorhanden sind, so findet gleichzeitig mit der rotirenden eine Bewegung in der Richtung der Axe statt. Daher wird man stets eine Abweichung von einem Rotationskegel erhalten, wie lange auch die Arbeit fortgesetzt werden mag; dadurch wird bei der Drehung der einen Fläche um die andere bald eine nähere Berührung, bald eine schlechtere statthaben. Soll ein wirklich gutes Resultat erzielt werden, so muss eine Fläche bei Beginn der Arbeit bereits die Form eines regulären Rotationskörpers besitzen. Um dieses bewerkstelligen zu können, fertigt man auf der Drehbank einen messingenen abgestumpften Kegel mit demselben Neigungswinkel, wie solchen der gewünschte Glaskegel besitzen soll, aber von etwas grösserer Länge als letzterer, an. Mit Hilfe eines solchen Kegels, den man auf der Drehbank oder aus freier Hand dreht, schleift man den Hals des betreffenden Gefässes aus. Wenn man auch noch den Stöpsel in einer eigens präparirten, kegelförmigen Messingröhre schleift, so wird hierdurch die Arbeit noch mehr erleichtert, auch erzielt man auf diese Art ein noch besseres Resultat; gewöhnlich aber schleift man den Pfropfen direct im Halse und bessert

die Form des letzteren von Zeit zu Zeit auf dem Messingkegel aus. Will man beim Schleifen eines Kegels eine gleichmässige Vertheilung des Schmirgels erzielen und ringförmige Furchen auf den schleifenden Flächen vermeiden, so muss man abwechselnd, bald in einer, bald in der entgegengesetzten Richtung, drehen und den Stöpsel öfters herausnehmen.

Manchmal ist man genöthigt, Glas zu bohren, wenn man eine erforderliche Oeffnung auf keine andere Art anbringen kann. Kleine Löcher von 1—5 mm Durchmesser lassen sich recht gut mittelst des dreikantigen scharfen Endes einer guten Feile, die man mit Wasser, Petroleum, Terpentinöl oder mit einer Lösung von Kamphor in Terpentinöl befeuchtet hat, bohren. Man soll die Arbeit noch mehr erleichtern können, wenn man statt der genannten Flüssigkeiten starke Schwefelsäure benutzt; doch zerfressen die umherspritzenden Tropfen dieser ätzenden Flüssigkeit dermaßen die Kleider und die Haut, dass eine Anwendung von Schwefelsäure durchaus nicht zu empfehlen ist. Eine trockene Stahlspitze wird bei der Berührung mit Glas leicht stumpf; dieses sollen eben die genannten Flüssigkeiten verhindern. Wenn man die dreikantige Spitze in die Patrone einer Drehbank oder in einen guten Drillbohrer einstellt, so geht die Arbeit langsamer von statten. Wahrscheinlich berühren in diesem Falle in Folge des regelmässigen Drehens viele Punkte des Bohrers und der entstehenden Oeffnung einander gleichzeitig, woher der Druck auf die Einheit der Berührungsebene sehr gering ist; diesen zu verstärken geht aber nicht gut an, da man auf diese Art leicht die ganze Arbeit zerdrücken kann. Hält man dagegen den Bohrer in der Hand, so verändert derselbe die Richtung fortwährend und die verschiedenen scharfen Ecken berühren die Glasflächen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander. Will man sich aber doch die Arbeit erleichtern, so kann man höchstens einen Drillbohrer mit Riemen, wie solche früher in Gebrauch waren, anwenden, da dieser sich bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung bewegt, wenn man das horizontale Querholz mit den Händen hebt und senkt. Die Drehungsaxe eines solchen Instrumentes verändert ihre Lage selbst in der Hand eines erfahrenen Arbeiters, was gerade den Erfolg beim Bohren von Glas bedingt.

Grosse Löcher bohrt man oder schleift dieselben vielmehr auf der Drehbank; man braucht hierzu mit Wasser angerührten Schmirgel und eine sich schnell drehende Kupfer-*röhre* von entsprechenden Dimensionen. Damit das Loch genau dort entstehe, wo ein solches erforderlich ist, kittet man auf das Glas mit Siegellack eine Messingplatte mit einer dem gewünschten Loche genau entsprechenden Oeffnung. Hat die Röhre sich bereits in's Glas eingebohrt, so kann man die Schablone entfernen, da eine solche dann unnütz ist. Das Bohren von Löchern mit Hilfe der Röhre erfordert eine gewisse Uebung; in diesem Falle ist nämlich die Berührungsebene nicht gross, und der Schmirgel wird leicht zur Seite ausweichen, wenn man stärker andrückt. Man muss sich nur darin üben, dass man gerade stark genug andrückt, was man an dem eigenthümlichen Geräusch des stark schleifenden Schmirgels erkennen kann; ausserdem muss man dem Gegenstand eine leicht schwingende Bewegung verleihen, damit die Berührung bloss an einer Stelle der auszuschiebenden ringförmigen Vertiefung stattfindet und der Reihe nach auf alle Punkte derselben übergeht. Der hierbei zur Verwendung gelangende Schmirgel darf nicht allzu grob sein, auch muss man von solchem recht oft hinzuschütten; den schneidenden Rand des Kupferrohres kann man mit Einschnitten versehen, damit der Schmirgel besser hält. Die fertige Oeffnung kann man, wenn nöthig, vergrössern, indem man dieselbe auf einem sich schnell drehenden mit Schmirgel und Wasser bestrichenen Kupfer-, Zink-, Blei-, ja selbst auf einem Holzkegel ausschleift.

**Die Anfertigung von Wasserwaagen.** Diese gehört eigentlich nicht unter die Arbeiten des Experimentirenden. Wasserwaagen kauft man fix und fertig in optischen u. drgl. Handlungen. Da aber in der wissenschaftlich-technischen Litteratur von der Herstellung dieser Instrumente absolut nicht die Rede ist, so lohnt es sich vielleicht, an diesem Orte hierüber Einiges zu sagen.

Soll eine Wasserwaage bis zu  $\frac{1}{2}$  Grade genau sein, so biegt man die Röhre leicht über einem Kreisbogen, schmilzt das eine Ende zu, zieht das andere aus, füllt die Röhre, wenn man es mit der Empfindlichkeit nicht so genau nimmt,

mit Glycerin, wenn man dagegen etwas empfindlichere Wasserwaagen haben will — mit Petroleum oder Weingeist und schmilzt endlich das offene Ende der Röhre so zu, dass in derselben ein Luftbläschen zurückbleibt. Zum Messen von Neigungen taugt eine solche Wasserwaage aber nicht. Das Bläschen verändert nämlich seine Lage durchaus unabhängig von der Stärke der Neigung, da die Röhre eine unregelmässige Form besitzt. Eine ideale Wasserwaage stellt von innen die Oberfläche eines Rotationskörpers dar, welcher entsteht, wenn ein Kreisbogen sich um die zugehörige Sehne dreht. Der Radius dieses Bogens muss bei einer empfindlichen Libelle äusserst gross sein; so beträgt derselbe z. B. 412 m bei einer Wasserwaage, deren Luftblase sich um 1 mm verschiebt, wenn die Neigung um 1'' ab- oder zunimmt. Solche Wasserwaagen füllt man mit Schwefeläther, da diese Flüssigkeit weit beweglicher ist und bei niedrigen Temperaturen nicht friert, sondern sich bloss zusammenzieht. Durch letztere Eigenschaft des Aethers sieht man sich aber gezwungen, zu Wasserwagen solche Röhren zu nehmen, deren Durchmesser im Verhältniss zur Länge nicht gross ist, da die Luftblase sich sonst in der Kälte zu stark verlängert.

Der verstorbene Mechaniker der Sternwarte zu Pulkowa und der St. Petersburger Universität, G. C. Brauer, hatte sich unter den Astronomen und Geodäten einen gewissen Ruf durch seine Geschicklichkeit im Anfertigen von genauen Wasserwaagen erworben. Ich werde hier Brauer's Arbeitsmethode darlegen, theils auf Grund seiner eigenen Mittheilungen, theils auf Grund der Informationen des Universitäts-Mechanikers V. Frantzen, welcher diese Arbeit unter Brauer's persönlicher Anleitung erlernt hat. Damit die Luftblase beim Fallen der Temperatur sich nicht über die ganze Scala verbreite, nahm Brauer Röhren von bestimmten Dimensionen, nämlich:

bei einer Länge von 200 mm	solche mit einem Durchmesser von 18,5 mm
" " " " 175	" " " " " " 16,75 "
" " " " 150	" " " " " " 15,5 "
" " " " 125	" " " " " " 13,75 "
" " " " 100	" " " " " " 12,25 "
" " " " 75	" " " " " " 11,5 "

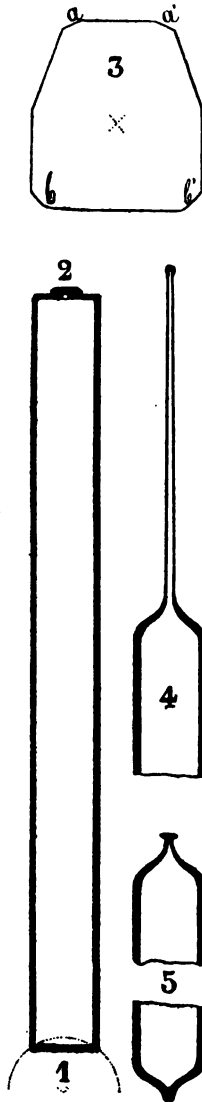


Abb. 26.

Die Dicke der Wände betrug ungefähr 1,5 mm, so dass der innere Durchmesser um 3 mm kleiner war, als der äussere. Die Röhren wurden vor allem in Stücke von der gewünschten Länge geschnitten und von innen cylindrisch ausgeschliffen. Zu diesem Zweck schliiff man die Röhre zuerst auf einem langen, geraden Eisencylinder; hierauf wurde mit Hilfe der Drehbank ein Messingcylinder mit einer bleiernen Verdickung am Ende, auf welche Schmirgel mit Wasser gemengt aufgetragen war, gedreht, während die auf den Cylinder aufgesetzte Röhre mit der Hand hin und her geführt wurde. In dem Masse, in welchem der Bleicylinder sich abrieb, musste dessen Durchmesser vergrössert werden; zu diesem Zweck war der ganze Messingcylinder in der Richtung des Diameters zersägt und in die Spalte wurde ein Keil eingetrieben. Nachdem die Röhre auf diese Art cylindrisch ausgeschliffen war, wurden die Enden derselben von innen mittelst einer Kugel von etwa 3 cm Durchmesser geschliffen und runde Glasscheiben von gleichem Durchmesser zugeschliffen (Abb. 26, 1), wenn die Wasserwaage nicht zugeschmolzen, sondern zugeklebt werden sollte. War ein Zuschmelzen der Libelle erforderlich, so nahm Brauer Röhren, welche um 3 oder 4 cm länger waren, als die herzustellende Wasserwaage. Hierauf trug er mit Hilfe eines in die Theilmaschine eingestellten Diamanten auf die Röhren Theilungen auf, so dass die Entfernung zwischen zwei benachbarten Strichen 2 mm betrug; man musste hierbei jeden Strich etwa dreimal ziehen. Hierauf wurden diese getheilten Röhren im Laufe vieler Stunden

in Wasser gekocht, um dem ungenügenden Anlassen des Glases nachzuhelfen. Während dieser Operation platzten viele Röhren — ein Beweis, dass dieselben auf der Fabrik nicht hinreichend angelassen worden waren. Bloss diejenigen Röhren, welche diese Operation überstanden hatten, wurden auf einem Kreisbogen weiter geschliffen.

Zu diesem Zweck präparirt man einen besonderen Dorn. Man dreht aus einem runden Stab weichen und homogenen Eisens einen Cylinder, dessen Durchmesser etwa  $\frac{4}{5}$  vom Diameter der zu schleifenden Libelle beträgt und welcher  $2\frac{1}{2}$ —3 Mal so lang ist als letztere. Ungefähr die Hälfte des Stabes dreht man etwas stärker ab, so dass dieses Ende um ca. 2 mm dünner wird, da der Dorn während der Arbeit mit diesem Ende horizontal in einen Schraubstock eingespannt werden muss. Hierauf versieht man den Cylinder durch Abfeilen mit sechs ebenen Facetten, so dass von dem Mantel desselben bloss vier Streifen (*a, a' b, b'* bei Abb. 26, 3) zurückbleiben. Von der Regelmäßigkeit der drei oberen Facetten hängt der Erfolg der ganzen Arbeit ab. Diese müssen zwei Streifen des Cylindermantels von etwa 1,5 mm Breite mit vollkommen parallelen Rändern begrenzen. Das Schleifen verrichten bloss diese *a*-Theile des Dorns; der untere Theil derselben berührt die Röhre nicht und spielt daher während der Arbeit auch keine Rolle.

Unter den horizontal befestigten Dorn stellt man ein mit Schmirgel und Wasser gefülltes flaches Gefäss, in welches man während der Arbeit die Röhre von Zeit zu Zeit taucht, da dieselbe sonst durch die Berührung mit der Hand und durch die Reibung erwärmt wird. Der Dorn wird mit Schmirgel und Wasser bestrichen und die Röhre auf denselben gesetzt; letztere führt man hin und her, indem man jedesmal die Enden der Röhre, um  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  von der Länge derselben, die Enden des dicken Theiles des Dornes überschreiten lässt; bei jeder Bewegung längs der Röhrenaxe muss man die Röhre ein wenig drehen, damit alle Punkte derselben gleichmäßig bearbeitet werden. Wenn man meint, dass die Innenfläche bereits hinreichend geschliffen ist, so verkorkt man die Röhre ordentlich, wäscht sie rein, füllt sie mit Aether und prüft die Wasserwaage auf einem eigens



dazu hergestellten Apparate. Beschreibungen von diesem findet man in den Lehrbüchern der Geodäsie. Der Apparat besteht aus einem flachen Dreifuss, dessen langes Ende mit einer Schraube versehen ist; letztere besitzt nun solche Theilungen, dass eine Umdrehung der Schraube einer bestimmten, in Secunden oder Theilen von solchen ausgedrückten Neigungsveränderung der auf den Apparat gelegten Libelle entspricht. Wenn die Krümmung der Röhre zu stark ist, so schleift man die Röhre weiter, schiebt dieselbe aber nicht mehr so weit von dem Dorn herunter; soll dagegen die Empfindlichkeit der Wasserwaage gesteigert werden und muss man aus diesem Grunde die Krümmung verstärken, so rückt man während des Schleifens die Röhre noch weiter von dem Dorn. Eine regelmässige Krümmung erhält man gewöhnlich ganz zufällig. Bei der Probe erweist sich manchmal die Wasserwaage bis auf die Krümmung ganz richtig; durch das fortgesetzte Schleifen verschlechtert sich aber die Libelle, obschon dadurch die erforderliche mittlere Krümmung erhalten wird. Ueberhaupt gelang es Brauer, solche Wasserwaagen anzufertigen, in denen die Proportionalität der Veränderungen des Neigungswinkels und der Ortsveränderung des Luftbläschens auf 2 oder 3 Zehntel der Theilung genau war; ein Theilstrich entsprach hierbei 1—2 Secunden.

Besitzt der Dorn einmal die erforderliche Krümmung, so ist es sehr leicht, auf demselben Röhren mit einer und derselben Krümmung zu schleifen; man muss dann bloss dieselben Bewegungen innerhalb derselben Grenzen wiederholen. Soll dagegen eine Röhre mit etwas grösserem oder kleinerem Durchmesser geschliffen werden, so muss man dieser zuerst eine rotirende Bewegung um die eigene Axe verleihen, um dem Dorn die Gestalt eines facettirten Cylinders von demselben Diameter zu geben.

Es ist dieses eine sehr feine Arbeit; die geringste Unachtsamkeit, die Nichtbeobachtung irgend einer Vorsichtsmaßregel kann die Arbeit vieler Stunden total vernichten. Wenn man zuerst die Röhre schleift und dieselbe hierauf theilt, so wird, da die Continuität der oberen Schicht gestört ist, das Glas dermassen deformirt, dass man eine unrichtige Wasserwaage erhält.

Die allerempfindlichsten Wasserwaagen werden nicht zugeschmolzen, sondern zugeklebt (Abb. 26, 2), da beim Zuschmelzen der Enden im Glase neue Spannungen auftreten, welche die Krümmung verändern. Nun werden Fischleim und gewöhnliche Ochsenblasen von Aether nicht angegriffen. Aus diesem Grunde leimt man die kreisförmige Glasscheibe mit Fischleim an das Ende der Libelle, umwickelt dieselbe mit einem Stückchen von einer Ochsenblase, welches mit ebensolchem Leim bestrichen ist, und schneidet den überflüssigen Rand (der Blase) ab; wenn dann alles gut angetrocknet ist, so bestreicht man dieses Ende noch mit einer Lösung von Schellack in Alcohol. Die andere als Deckel dienende Glasscheibe wird mit einer kleinen Oeffnung in der Mitte versehen, und auf dieselbe kommt ein zweites flaches Glasdeckelchen. Erstere wird einfach angeklebt und nicht mit einer Blase umwickelt. Nachdem der Fischleim ausgetrocknet ist, giesst man durch das Loch im Deckel Aether in die Wasserwaage, stellt letztere in ein mit warmem Wasser gefülltes Glas, was den Aether beinahe sieden lässt, giesst hierauf von letzterer Flüssigkeit hinzu, legt das mit Leim bestrichene Deckelchen darauf und nimmt die Libelle aus dem Wasser; der Druck der atmosphärischen Luft presst das Deckelchen fest an die Röhre. Das zweite Ende derselben wird hierauf wie das erste mit einer Blase umwickelt.

Um eine Wasserwaage zuzuschmelzen, giebt man derselben die Form von Abb. 26, 4, schmilzt das eine Ende zu und zieht das andere ohne Aufblasen aus, indem man hierbei bloss die inneren Kräfte des weichen Glases wirken lässt. Darauf füllt man die Libelle vollständig mit Aether und steckt sie in Wasser, dessen Temperatur etwas höher ist, als die Siedetemperatur des Aethers; ist dann der Aether so weit verdampft, dass sein Niveau die Basis des ausgezogenen Röhrchens erreicht, so nimmt man den Apparat aus dem warmen Wasser und schmilzt das offene Ende desselben zu. Hierauf stellt man die Wasserwaage vertical in möglichst kaltes Wasser oder auch in Eis, so dass die Libelle bis zur Basis des ausgezogenen Theiles darin steckt; die Kälte bewirkt, dass der Aether sich zusammenzieht und dass sein Niveau unter den erwähnten Punkt sinkt. Jetzt richtet man

die Spitze der Flamme auf diese Stelle und schmilzt das dünne Röhrechen ab. Bei Beginn dieser Arbeit ist der Druck der eingeschlossenen Aetherdämpfe kleiner als derjenige der atmosphärischen Luft; während der Arbeit werden jedoch die zunächst liegenden Aethertheilchen so erwärmt, dass die Spannkraft der Dämpfe das erweichte Glas zum Aufblasen und Platzen veranlassen kann. Um nun diesem Unglück vorzubeugen, hält man eine Metallpincette bereit, mit welcher man das sich aufblasende Glas abkühlt, indem man die Pincettenenden zusammendrückt. Wenn das dünne Röhrechen bereits abgetrennt ist, so genügt ein Andrücken eines kalten Gegenstandes an die sich aufblasende Stelle (Abb. 26, 5).

Man hat in letzter Zeit die Beobachtung gemacht, dass sogar sehr gute Wasserwaagen einige Monate oder Jahre nach der Anfertigung untauglich wurden, da die Luftblasen nur sehr langsam oder sprungweise den Ort verändern. Untersuchungen, welche F. Mylius anstellte, ergaben nun, dass unter Einwirkung der im Aether enthaltenen geringen Quantität Wasser an der Oberfläche des Glases ein wenig vom Alkali gelöst wird, und dass letzteres sich als wässriges Salz cristallisirt. Die Cristalle setzen sich am Glase an, verleihen der Röhre eine unregelmäßige Gestalt und behindern die freie Bewegung des Bläschens. Der zersetzenden Wirkung des Wassers am stärksten unterworfen ist das leicht schmelzbare, daher zu Glasarbeiten so gut sich eignende thüringer Glas; weit schwächer greift Wasser Röhren aus gewöhnlichem Fensterglas an und am wenigsten jenaisches Normalglas. Uebrigens braucht man eine Libelle, welcher dieses Unglück zugestossen ist, bloss zu leeren, mit Wasser gründlich auszuwaschen und von neuem zu füllen.

Recht empfindliche Wasserwaagen kann man anfertigen, wenn man aus einer langen Röhre Theile mit der erforderlichen Krümmung aussucht. Solche Theile finden sich gewöhnlich bei jeder Röhre, da dieselben bei der Herstellung unter dem Einfluss der Schwere sich leicht verbiegen. Wenn man auf solche Art ein zu einer Libelle taugliches Röhrenstück auswählen will, muss man die Röhre natürlich mit Weingeist füllen und eine Luftblase darin zurücklassen; die Röhre legt

man hierauf auf den Apparat zur Prüfung von Wasserwaagen und beobachtet die Verschiebung des Bläschens bei verschiedenen Stellen der Röhre.

## Die Anfertigung und Prüfung von Thermometern.

### a) Die Anfertigung derselben.

In fast allen Lehrbüchern der Physik wird die Herstellung von Thermometern beschrieben, wodurch junge Freunde der Experimentalkunst leicht versucht werden, sich mit der Anfertigung solcher Apparate zu befassen; jedoch gelingt es gewöhnlich nicht, nach diesen Anleitungen Thermometer herzustellen. Anfangs geht ja Alles ganz gut, aber nach dem Zuschmelzen beginnt die Flüssigkeitssäule sich zu theilen, bleibt am Glase haften, so dass man damit nichts anfangen kann. Die Anfertigung von Thermometern erfordert eben ein solches Mafß von Fertigkeit, dass man besser thut, diese Arbeit Fachmännern zu überlassen; für den Experimentirenden lohnt es sich nicht, seine Zeit darauf zu verschwenden, da man selbst im besten Falle ein bloss leidlich brauchbares Thermometer erhält. Die bei der Herstellung von Thermometern gebräuchlichen Handgriffe zu besprechen, ist höchstens darum lohnend, weil von solchen weder in der russischen, noch in der ausländischen (technischen) Literatur die Rede ist, während doch der Experimentirende die Herstellungsart seiner Apparate kennen muss, wenn er die Fehler derselben mit Verständniß beurtheilen will. — Als thermometrische Flüssigkeit dient gewöhnlich Quecksilber oder wässriger Aethyl- und auch Amylalkohol. Das Quecksilber verwendet man in dem Zustande, in welchem solches bei den Droguisten käuflich ist, und reinigt dasselbe bloss, indem man es durch eine Papiertüte in ein reines und trockenes Glas filtrirt. Den Weingeist färbt man gewöhnlich verschiedenfarbig. Zum Rothfärben benutzt man Cochenille und könnte, um andere Farben

zu erhalten, verschiedene andere in Alkohol lösliche Farbstoffe verwenden, wenn dieselben sich nicht mit der Zeit am Glase der Röhre ansetzten und dadurch die Röhre undurchsichtig machten, oder andererseits unter dem Einfluss der Sonne ausbleichen würden. Aus diesem Grunde soll man in Weingeist lösliche gefärbte (nicht färbende) Producte nehmen, d. h. solche, die sich an der Oberfläche der Gegenstände nicht so leicht ansetzen. Am tauglichsten sind Verbindungen von essigsaurem Kupfer mit Ammoniak. Die Chemie kennt solcher mehrere. Gewöhnlich löst man in einem Ueberschuss von wässerigem Ammoniak neutrales Kupferacetat (venetianischen Grünspan, nicht den gewöhnlichen in Wasser unlöslichen lasischen Grünspan) und giesst von dieser Lösung, so viel als erforderlich, zum Weingeist hinzu. Dieses Salz löst sich jedoch in starkem Alkohol nicht gut; wasserhaltiger Weingeist aber friert und dehnt sich auch noch ungleichmässig aus. Am besten ist es, wenn man die Lösung in einem Wasserbade verdampfen lässt, bis sich ein Häutchen bildet. Nach dem Erkalten setzen sich hübsche dunkelblaue Crystalle ab, welche durch Wasser zersetzt werden, während die lebhaft dunkelblaue Mutterlauge ein in starkem Alkohol leicht lösliches Product repräsentirt. Zum Rothfärben kann man eine starke Lösung von Eisenchlorit in Rhodankalium benutzen; diese ist sehr stark gefärbt, giebt aber dem Weingeist einen unschönen blutrothen Ton.

Im October 1892 hat Herr Chappuis seine Experimente über Toluol- (französisch Toluène) Thermometer für niedere Temperaturen im Arch. des sciences Physiques T. XXVIII, 293 publicirt, und jetzt sind solche Thermometer schon käuflich zu haben. Sieben verschiedene Thermometer mit chemisch reinem und auch mit käuflichem Toluol gefüllt, haben sehr übereinstimmende Resultate zwischen  $0^{\circ}$  und  $-70^{\circ}$  C. gegeben, während zu gleicher Zeit untersuchte Alkohol-Thermometer nur dann übereinstimmten, wenn dieselben mit ein und derselben Portion Alkohol gefüllt waren. Die Temperatur  $T$ , welche ein Wasserstoff-Thermometer zeigen würde, wenn ein Toluol-Thermometer  $t$  anzeigt, ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$T = 0,863109t + 9,704922 \times 10^{-4}t^2 + 2,81924 \times 10^{-6}t^3.$$

Käufliche Alkohol-Thermometer zeigen, nach Chappuis, oft Unterschiede von 5 bis 6<sup>o</sup> C. bei niederen Temperaturen. Alkohol, Toluol und selbst Quecksilber haben die unangenehme Eigenschaft, in die luftleere Spitze des Thermometers hinüber zu destilliren, wenn die ganze Säulenlänge erhitzt ist und das obere Ende der Röhre sich in Lufttemperatur befindet. Concentrirte Schwefelsäure allein ist von diesem Uebelstande frei, deshalb scheint dieselbe als Thermometerflüssigkeit sehr geeignet. (Doule, Z. f. Instrumentenkunde XIII, p. 238).<sup>1)</sup>

Der äusseren Form nach kann man die Thermometer in folgende drei Gattungen eintheilen: 1) gewöhnliche Zimmerthermometer, bei welchen die Röhre an einer flachen Skala befestigt ist; 2) Thermometer mit Theilungen auf der Röhre, welche letztere aus diesem Grunde dickwandig ist, und 3) Thermometer mit einer Papier- oder Milchglasscala, die von einer besonderen, mit dem Thermometerreservoir ein Ganzes bildenden Röhre eingeschlossen wird (sog. „Einschlussthermometer“). Der zweite Typus, welcher französischen Ursprungs ist, wird jetzt als für genaue Thermometer am tauglichsten angesehen, da die Unbeweglichkeit der Scala in Bezug auf das Thermometer garantirt ist. In Deutschland zieht man jedoch die dritte Sorte, die Einschlussthermometer, vor, da man bei solchen die Ablesungen leichter vornehmen kann, weil den Theilungen der Scala mehr Raum zur Verfügung steht.

Die Länge eines Grades der Thermometerscala hängt von dem Verhältniss des Kugelinhaltes zum Querschnitt der Röhre ab. Zu Zimmerthermometern, bei welchen ein Grad 1—3 mm lang ist, während die Kugel ein ziemlich grosses Volumen besitzt, verwendet man daher verhältnissmässig breite Röhren, deren Lumen einen zusammengedrückten Querschnitt besitzt, was zur Folge hat, dass man die Quecksilbersäule besser sieht. Da der Ausdehnungscoefficient des Weingeistes grösser ist, als der des Quecksilbers, so nimmt man zu Thermometern, welche mit dieser Flüssigkeit gefüllt werden

<sup>1)</sup> Als thermometrische Flüssigkeit für niedrige Temperaturen kann man höchst wahrscheinlich Amylacetat anwenden wegen seines sehr gleichmässigen Ausdehnungs-Coefficienten und passend liegenden Siedepunktes.

sollen, auch breitere Röhren. Bei Thermometern zu wissenschaftlichen Zwecken sind oft noch längere Grade erforderlich; sind letztere wieder getheilt, so beträgt die Länge eines Grades 5—20 mm, d. h. es kommen auf jede Theilung 0,5—2 mm. Dabei darf die Quecksilbermenge im Reservoir nicht allzu gross sein, da seine Wärmecapacität sonst so bedeutend wird, dass die Angaben des Thermometers weit hinter der wirklichen Temperatur des Mittels, in welchem dasselbe sich befindet, zurückbleiben, im Falle dieselbe veränderlich ist. Aus diesem Grunde nimmt man zu solchen Thermometern Röhren, deren innerer Durchmesser etwa 0,1 mm beträgt, wodurch indess die Herstellung des Thermometers bedeutend erschwert wird. Thermometer mit über 1 cm langen Graden wirken bereits unrichtig, in Folge des capillaren Druckes des Quecksilbers.

Wenn es sich um die Herstellung eines gewöhnlichen Zimmerthermometers von bestimmten Dimensionen handelt, so wählt der Glasbläser eine Röhre aus, indem er deren Querschnitt durch eine Lupe betrachtet. Sieht man von der Seite durchs Glas, so wird man schwerlich die wirkliche Ausdehnung der Höhlung beurtheilen können, da die Röhre ja ein unregelmässig-cylindrisches Vergrösserungsglas ist<sup>1)</sup>. Auf Grund von solchen Beobachtungen und von Vergleichen mit anderen Thermometern bestimmt ein Glasbläser gewöhnlich ziemlich richtig die Grösse der Kugel, welche nöthig ist, wenn man auf der ausgesuchten Röhre Theilungen von der gewünschten Länge haben will. Im schlimmsten Falle fertigt man ein Thermometer aufs Gradewohl an und kann dann aus der Länge der Grade desselben ganz gut darauf schliessen, innerhalb welcher Grenzen man das Volumen der Kugel bei den anderen Thermometern, welche man aus derselben Röhre anzufertigen beabsichtigt, verändern muss.

<sup>1)</sup> Betrachtet man die Röhre als regelmässigen Cylinder und setzt den Brechungsexponenten des Glases =  $\frac{3}{2}$ , so braucht man bloss den sichtbaren Durchmesser der mit Quecksilber oder einer anderen Flüssigkeit angefüllten Höhlung der Röhre zu messen: der wirkliche Diameter wird dann annähernd  $\frac{2}{3}$  des sichtbaren betragen.

Nachdem man die Röhre ausgesucht hat, schmilzt man dieselbe an dem Ende, an welchem die Kugel angebracht werden soll, zu, während man an das andere, etwas ausgezogene Ende ein provisorisches Reservoir mit langer Spitze anschmilzt (Abb. 27 1), welches man aus einer Röhre von ungefähr 1 cm Durchmesser ausgezogen, worauf man ein Gebilde mit einem den Diameter der zukünftigen Kugel 5 oder 6 Mal übertreffenden Durchmesser aufgeblasen hat. Hierbei darf man das Ende der Thermometerröhre nicht überhitzen, sondern muss das Erwärmen auf die Ränder derselben beschränken, da die Höhlung sonst leicht zuschmelzen könnte. Wenn die Röhre sehr eng ist, so nehmen erfahrene Glasbläser ihre Zuflucht zu einem besonderen Kunstgriff, welcher weiter unten besprochen werden wird und der das Zuschmelzen zu verhindern hat. Ist das Reservoir fertig, so erwärmt man das zugeschmolzene Ende der Röhre und bläst dasselbe allmählich zu einer Kugel auf (Abb. 27, 4, 5, 6 und 2). Hierauf erwärmt man leicht das ganze Thermometer und schmilzt die obere Spitze zu, um ein Hineindringen von Wasserdämpfen und Staub zu verhüten. Wenn die Höhlung sehr eng ist, so hält es recht schwer, das Ausblasen einer Kugel vorzunehmen; in solchem Falle schmilzt man die obere Spitze zu, erwärmt das Hilfsreservoir und erweicht dann das Ende; die Spannkraft der eingeschlossenen Luft wird das Aufblasen der Kugel von selbst verrichten. Um ein gar zu starkes Aufblasen zu verhindern, bricht man die zugeschmolzene Spitze ab, zu welchem Zweck diese vor dem Zuschmelzen recht dünn ausgezogen werden muss.

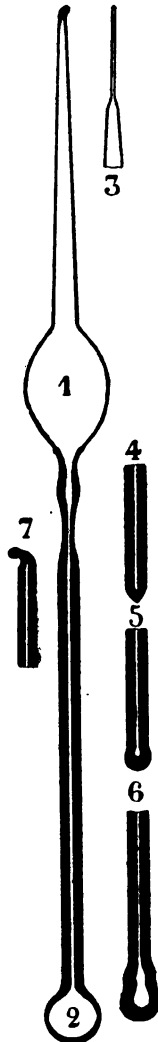


Abb. 27.



Ein auf diese Weise hergestelltes Thermometer kann man mit Quecksilber über einer Weingeistlampe oder einem Bunsenbrenner füllen. Weit bequemer ist jedoch der auf Abb. 28 dargestellte lange Gasbrenner (die Vorderwand ist entfernt gedacht). Die Wände desselben sind aus Eisenblech

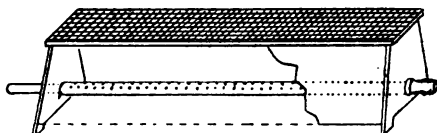


Abb. 28.

gefertigt; von oben bedeckt den Brenner ein feines Kupfernetz, während horizontal unten eine ziemlich breite, für das Gas bestimmte Röhre, welche oben

eine Reihe von kleinen Oeffnungen besitzt, verläuft. Das aus diesen Löchern herausströmende Gas vermengt sich mit der Luft und verbrennt über dem Netz mit einer nicht leuchtenden Flamme, wie dieses im Bunsenbrenner ja auch der Fall ist. Von dem Ende der horizontalen Röhre, welches dem für die Zufuhr von Gas bestimmten gegenüber liegt, kann man in das Rohr einen genau hineinpassenden Cylinder schieben, welcher die Austrittsöffnungen verdeckt und mit dessen Hilfe man die Länge der Flamme nach Belieben verändern kann. Man füllt das Thermometer folgendermaßen. Zuerst wird das zugeschmolzene Ende der Spitze abgebrochen und diese noch feiner ausgezogen (Abb. 27, 3); hierauf erwärmt man das am oberen Ende der Röhre befindliche Hilfsreservoir und steckt das ausgezogene Ende desselben in Quecksilber, welches in der oben besprochenen Weise gereinigt ist. Das Reservoir erkaltet und das Quecksilber tritt in dasselbe hinein; wenn zu wenig hineingelangt sein sollte, so kann man dieselbe Procedur noch einmal vornehmen, bis das Hilfsgefäß etwas mehr Quecksilber enthält, als die Kugel fassen kann. Hierauf erwärmt man das im Reservoir befindliche Quecksilber bis zum Sieden, indem man die Röhre fast horizontal hält, worauf die Spitze zugeschmolzen wird. Nach dem Erkalten der Quecksilberdämpfe bildet sich im Thermometer ein luftleerer Raum. Man fasst nun das Thermometer an der Spitze, ohne dasselbe zu öffnen, und erwärmt über der langen Flamme des obenerwähnten Brenners die ganze

Röhre und die Kugel, beinahe bis zur Siedetemperatur des Quecksilbers. Dann hält man die Röhre vertical; das Quecksilber fließt fast sogleich in die Kugel ab, worauf man dieses in einen Kasten mit Sägespänen zum Abkühlen stellt. — Man kocht das Quecksilber in der Kugel und erwärmt auch die ganze Röhre bis zu 300 bis 500<sup>o</sup> C., um die an der Oberfläche condensirten Wasserdämpfe zu entfernen. Nachdem das Quecksilber erkaltet ist, wird man finden, dass die Kugel mit dieser Flüssigkeit angefüllt ist. Falls noch Luftblasen vorhanden sind, erwärmt man Röhre, Kugel und Reservoir von neuem und bringt das Quecksilber in der Kugel zum Sieden; die hierbei entstehenden Dämpfe verdrängen die in der Kugel und der Röhre enthaltenen Luftreste vollständig. Nach dem Erkalten füllt sich dann das ganze Thermometer mit Quecksilber. Zu diesem Zweck muss man während des Siedens die ganze Röhre erwärmen, damit die Quecksilberdämpfe nicht etwa sich condensiren, sondern bis ins Hilfsreservoir steigen. Gewöhnlich bleibt nach dem ersten Kochen an der Verbindungsstelle zwischen Kugel und Röhre eine bemerkbare Luftblase zurück. Diese verdrängt man, indem man das Sieden wiederholt; bei gewöhnlichen Thermometern wendet man jedoch einen weit einfacheren Handgriff an, der weiter unten berücksichtigt werden soll. Nach dem Füllen kann man das Hilfsreservoir öffnen, das in demselben enthaltene Quecksilber kochen und das Reservoir von neuem zuschmelzen. Es bildet sich dann, nach dem Erkalten der Quecksilberdämpfe, über dem Quecksilber in der Röhre und im Hilfsreservoir ein luftleerer Raum. Wenn in der Röhre Luft unter dem Quecksilber zurückgeblieben sein sollte, so theilt sich die Säule an dieser Stelle. Bei sorgfältigen Arbeiten darf so etwas nicht vorkommen; sollte es indessen doch der Fall sein, so erwärme man die Kugel, bis alle getrennten Theile der Quecksilbersäule ins Hilfsreservoir übergehen und sich dort vereinigen, worauf die Luft sich über dem Quecksilberniveau ansammelt.

Bei uns in Petersburg hat ein Glasbläser weit öfter ein Zimmerthermometer zu repariren, indem er eine neue Röhre an die Stelle der zerbrochenen setzt, als dass er ein neues Instrument anfertigt. Somit stellt man ihm fortwährend die

scheinbar schwierige Aufgabe, ein Thermometer mit ebensolcher Grادلänge anzufertigen, wie das alte solche besessen. In Wirklichkeit ist diese Aufgabe sehr leicht zu lösen; ein jeder Meister hat gewöhnlich einige Hunderte von Thermometern, welche zu den drei gebräuchlichsten Sorten gehören und deren Anfertigung bis zum besprochenen Stadium gediehen ist, vorrätzig. Ein jedes von diesen wurde bei der Herstellung ein wenig stärker erhitzt, als nöthig war, damit das Quecksilber sich über die ganze Röhre verbreite, und hierauf horizontal hingelegt, damit die Säule sich von dem Quecksilber im Hilfsreservoir trenne. Wenn ein Theil des im zuletztgenannten Behälter enthaltenen Quecksilbers auch nachträglich in die Röhre steigt, so bleibt dasselbe doch von dem Quecksilber in der Kugel getrennt und ruft keine weitere Störung hervor. Bei einem solchen Thermometer bestimmt man annähernd die  $0^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  R. (oder  $25^{\circ}$  C.) entsprechenden Punkte und markirt dieselben durch Striche, die man auf dem Glase mit schwarzem Lack zieht, wozu man eine Feder oder einen Pinsel benutzen kann.

Besitzt nun ein Glasbläser einen Vorrath von solchen Thermometern, so braucht er bloss mit einem Zirkel die Entfernung zwischen  $0^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  auf der Scala abzumessen und in seinem Vorrath eine Röhre auszusuchen, bei welcher die Entfernung genannter Punkte sich höchstens um 0,5 mm von der abgemessenen unterscheidet. Die Wahrscheinlichkeit, eine solche Röhre unter Hunderten von ähnlichen zu finden, ist natürlich sehr gross. Ein guter Meister ist bemüht, jeden Tag neue Thermometer zu seinem Vorrath hinzuzufügen.

Die auf diese Art präparirten Thermometer werden durch Aufbewahren noch besser. Nach einigen Tagen oder Wochen scheiden sich nämlich aus dem Quecksilber stets von neuem Luftbläschen aus, welche die Säule theilen; diese Bläschen kann man jetzt sehr leicht entfernen, doch würden dieselben das Thermometer untauglich machen, wenn letzteres bereits fix und fertig wäre. Um ein Thermometer zu beenden, muss man dasselbe so stark erhitzen, dass soviel Quecksilber herausfließt, wie nöthig ist, damit der Nullpunkt des Thermometers mit dem beabsichtigten Punkte der Röhre zusammenfällt. Wenn auf der Scala sich Null- und

Siedepunkt befinden sollen, so erwärmen die französischen Glasbläser das Thermometer in einer siedenden Kochsalzlösung, welche  $+110^{\circ}$  C. besitzt, und fahren im Theilen von  $0^{\circ}$  abwärts und von  $100^{\circ}$  aufwärts fort, wie der Raum dieses gerade gestattet. Nachdem der Ueberschuss an Quecksilber entfernt worden ist, schmilzt man das Hilfsreservoir ab und verkürzt, wenn nöthig, die Röhre. Das Ende der letzteren wird gewöhnlich rechtwinklig zur Ebene der inneren Höhlung gebogen und in eine entsprechende Vertiefung der Scala gesteckt, was die Unverschiebbarkeit beider garantirt (Abb. 27, 7). In ähnlicher Weise füllt man die Weingeistthermometer, doch macht man mit diesen weniger Umstände, da eine breitere Röhre und die Fähigkeit des Weingeistes, die Wände zu benetzen, selbst in fertigen Thermometern die Vereinigung der getrennten Säulchen möglich machen; man braucht bloss der Röhre Stösse zu ertheilen — und die Weingeistsäulen vereinigen sich bald zu einem Ganzen.

Bei Thermometern in diesem Zustande bestimmt man  $0^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  R. ( $25^{\circ}$  C.) durch Vergleich mit einem Normalthermometer und vermerkt dieses direct auf der Röhre, da die Scalen der Zimmerthermometer von diesem Typus beim Untertauchen in Wasser gewöhnlich verderben. Was die Herstellung der Scalen betrifft, so wird das Nöthige weiter unten gesagt werden.

Die besonderen Handgriffe bei der Anfertigung von Präcisionsthermometern sind dadurch bedingt, dass man genöthigt ist, eine Röhre mit regelmässigem Caliber zu nehmen, wobei letzteres von geringer Breite sein muss. Gewöhnlich beginnt man damit, dass man die auf der Fabrik angeschmolzenen Enden abschneidet und in die Thermometer-röhre eine 4—5 cm lange Säule reinen Quecksilbers einführt. Man muss dieses jedoch nicht etwa so einrichten, dass man das eine Ende der Röhre in Quecksilber taucht und an dem anderen saugt, in solchem Falle gelangen nämlich Wasserdämpfe in die Röhre; am besten ist es, wenn man das freie Ende der Röhre mit einem schwarzen oder grauen Gummischlauch überzieht und das Quecksilber aufsaugt, indem man den Schlauch zuerst an zwei Stellen zusammendrückt und dann die der Glasröhre zunächst liegende Stelle loslässt.

Wenn der Schlauch hinreichend dicke Wände besitzt, so wird die Elasticität des Gummis stärker wirken als der Druck der atmosphärischen Luft und in Folge dessen im Schlauch eine recht beträchtliche Luftverdünnung entstehen. Es kann jedoch auch der Fall eintreten, dass der Durchmesser des Lumen so gering ist, dass die capillare Abstossung des Quecksilbers stärker ist, als die in der eben besprochenen Weise entstandene Spannungsdifferenz. Dann muss man, nachdem das obere Ende der Röhre wieder zugeschmolzen worden ist, diese ihrer ganzen Ausdehnung nach erwärmen und hierauf das untere Ende in Quecksilber tauchen; nach dem Erkalten des Glases wird das Quecksilber in eine jede zu einem Thermometer taugliche Röhre eindringen.

Nachdem man nun die Quecksilbersäule eingeführt hat, lässt man dieselbe sich zu einem Ende hin verschieben, entweder mittelst Neigens, wenn die Röhre verhältnissmässig breit ist, oder indem man mit dem Finger auf dasjenige Ende klopft, zu welchem hin man die Säule verschieben will; ein in der Längsrichtung der Röhre geführter Schlag verleiht dieser bloss einen Ruck, wobei das Quecksilber, welches mit dem Glase nur durch die Reibung verbunden ist, in Folge der Trägheit seine Lage nicht verändert. Man vermerkt nun die Lage der Säulenenden auf der Röhre, misst die Länge der Quecksilbersäule mit Hilfe eines Zirkels und wiederholt dieses an verschiedenen anderen Stellen der Röhre.

Zu den allergenauesten Thermometern sucht man solche Röhren aus, in welchen die Ausdehnung einer ca. 5 cm langen Quecksilbersäule in den verschiedensten Lagen sich um weniger als  $\frac{1}{5}$  mm verändert; Röhren, in welchen diese Veränderung  $\frac{1}{2}$  mm nicht übersteigt, kann man noch zu guten chemischen Thermometern benutzen.

Der weitere Gang der Arbeit hängt davon ab, ob man eine dickwandige Röhre zu einem Thermometer mit Theilungen auf derselben ausgewählt hat, oder ob es eine dünnwandige ist, die eine von einer Hülle umgebene Scala verlangt. In beiden Fällen ist es unumgänglich, Mafsregeln zu ergreifen, damit in die Röhre keine Dämpfe gelangen, weder aus den Verbrennungsproducten des Gases, noch aus dem Munde des Arbeitenden; bei einer dünnwandigen Röhre kann

man zudem kein Reservoir am Ende aufblasen, wenn man die Luft bloss mit Hilfe der Lungen hineinbläst.

Die französischen Glasbläser arbeiten in folgender Ordnung. Man erwärmt das ausgesuchte Stück einer dünnwandigen Röhre vorsichtig an dem einen Ende, indem dasselbe in einem spitzen Winkel zur Flammenrichtung gehalten wird, damit die Verbrennungsproducte nicht etwa wider alles Erwarten in die Oeffnung gelangen, und drückt, wenn dieses Ende anfängt roth zu werden, an dasselbe das erweichte Ende einer ausgezogenen Röhre, um auf diese Art die Oeffnung zeitweilig zu verschliessen (Abb. 29, <sub>1</sub>). Hierauf kann man dieses Ende der Röhre ohne jegliche Gefahr erwärmen und zuschmelzen (Abb. 29, <sub>2</sub>) und an das andere Ende einen provisorischen Behälter anschmelzen, welcher aus einer anderen, ziemlich dickwandigen Röhre von ungefähr 1 cm Durchmesser ausgezogen und geblasen ist. Um hierbei die Höhlung der Thermometerröhre nicht zuzuschmelzen, muss man die Flamme auf die Seiten der Röhre richten; die Ränder glühen dann schneller als das Centrum, und kann man in diesem Falle das Reservoir an dieselben anschmelzen und die Röhre aufblasen, bevor noch das Ende zugeschmolzen ist. Wenn die Röhre äusserst eng und der Arbeiter unerfahren ist, so muss das Ende so zugerichtet werden, als handle es sich um das Anschmelzen eines Hilfsreservoirs für das Quecksilber, welcher Handgriff weiter unten berücksichtigt werden soll.

Nachdem man das spitze Ende dieses Reservoirs zugeschmolzen hat, erwärmt man letzteres leicht und lässt die Spannkraft der eingeschlossenen Luft die Röhre an der Verbindungsstelle aufblasen (Abb. 29, <sub>3</sub>), worauf man, nachdem die Spitze des Reservoirs abgebrochen worden ist, einen Theil dieses Endes zu einem Röhrchen auszieht (Abb. 29, <sub>4</sub>). Dann erwärmt man ein vom Ende ein wenig entfernteres Stück der Röhre *f* und formt das zukünftige Thermometerreservoir. Kann man jedoch auf diese Art nicht zum Ziele gelangen, d. h. das Thermometer nicht beenden, so bläst man durch das eben ausgezogene Röhrchen (Abb. 29, <sub>5</sub>). Das Reservoir bloss mit Hilfe der eingeschlossenen erwärmten Luft aufzublasen, hält äusserst schwer, da der Luftdruck gar nicht regulirt werden kann; beim geringsten Ueberhitzen

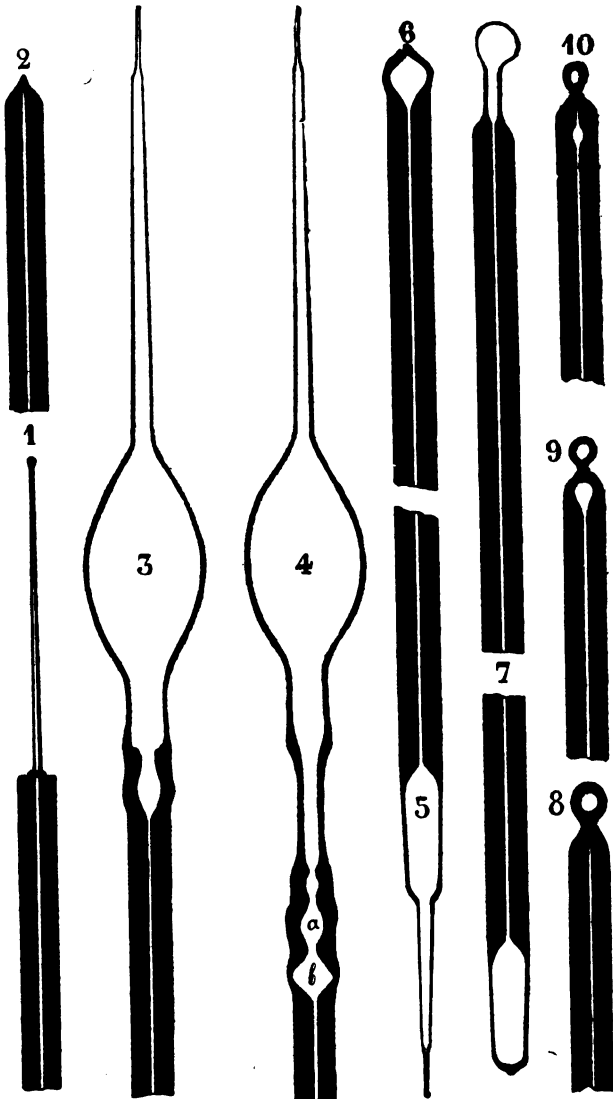


Abb. 29.

bleibt das sich aufblasende Glas bei der gewünschten Form *a* (Abb. 29, 4) nicht stehen, sondern lässt entweder ein zu dünnwandiges Gebilde *b* entstehen oder platzt auch an der erwärmten Stelle. Wenn man die Grösse des Reservoirs, welches für Grade von bestimmter Länge erforderlich ist, nicht genau kennt, so kann man vorläufig eine Probe machen, indem man die Kugel durch die ausgezogene Röhre (Abb. 29, 5) einstweilen mit Quecksilber füllt und letztere zuschmilzt. Die Luft an diesem Ende, welche in geringer Menge unter dem Quecksilber vorhanden ist, wird auf das Resultat nicht einwirken, wenn man die Luft des zugeschmolzenen Hilfsreservoirs eben so hoch erwärmt. Nachdem man hierauf das Quecksilber entfernt hat, kann man die Grösse des Reservoirs im Verhältniss zum erhaltenen Resultat verändern.

Beim Füllen mit Quecksilber verfährt man zuerst in der oben besprochenen Weise. Nach dem Abschmelzen des Hilfsreservoirs jedoch erwärmt man über einem zweiten Brenner das Thermometerreservoir, damit das Quecksilber sich dem oberen Röhrenende nähert, worauf man, nachdem dieses Ende bis zum völligen Weichwerden erhitzt ist, das Reservoir noch stärker erwärmt. Das Quecksilber gelangt bis an die erweichte Stelle, und die Dämpfe des ersteren blasen letztere zu einer Kugel auf (Abb. 29, 7). Um mit Erfolg arbeiten zu können, muss man die Weingeistlampe oder den Bunsenbrenner links aufstellen, und zwar in solcher Entfernung, dass die Thermometerkugel sich in der Flamme des Bunsenbrenners (resp. der Weingeistlampe) befindet, während das obere Ende des Thermometers in der Blasetischflamme steckt. Unter solchen Umständen kann man das Thermometerende weich erhalten und gleichzeitig mittelst einer seitlichen Bewegung das Kügelchen der Flamme schnell nähern und wieder aus derselben entfernen.

Nach dem Erkalten wird die Spannung der in diesem Kügelchen eingeschlossenen Luft durchaus unbedeutend sein, und das Quecksilber, vorausgesetzt, dass die Röhre breit genug ist, unbehindert ins Reservoir abfliessen, indem es höher an die Wände schlägt, wie man dieses auch bei Barometern bemerken kann. Sollte sich noch irgendwo ein Luftbläschen aus dem Quecksilber ausscheiden und auf diese Art



die Säule sich theilen, so kann man das Bläschen in die obere Kugel überführen und solchergestalt die Quecksilbersäule wieder vereinigen. Indem man einen Theil des Quecksilbers in das Kügelchen leitet, kann man bewirken, dass der Nullpunkt unter seiner anfänglichen Stelle zu stehen kommt. Solche gefüllte Thermometer muss man einige Wochen lang aufbewahren, um ihrer guten Beschaffenheit sicher zu sein. Nach Verlauf dieser Zeit entfernt man die etwa entstandenen Bläschen und schmilzt das Kügelchen ab, zieht einen Theil der Röhre aus und formt dieselbe zu einem Ringe (Abb. 29, 8). Wenn im Thermometer sich jetzt noch die Säule theilt, so ist eine Wiedervereinigung der einzelnen Theile geradezu unmöglich; wird ein solches Thermometer unvorsichtiger Weise etwas stärker erwärmt, als die Scala dieses zulässt, so platzt die Röhre augenblicklich. Um solche Uebelstände zu vermeiden, pflegen die französischen Glasbläser das Ende der Röhre mit einer kleinen Aufblasung (Abb. 29, 9) zu versehen. Man bringt diese am fertigen Thermometer ebenso wie das Kügelchen (Abb. 29, 7) an, doch erfordert diese Arbeit ein bedeutendes Maß von Übung, da ein zu starkes Aufblasen bewirkt, dass die Aufblasung oder sogar das Reservoir platzt, wenn etwa die aufzublasende Stelle nicht genügend erwärmt ist. Die deutschen Glasbläser bringen diese Aufblasung gewöhnlich noch vor dem Zuschmelzen des Thermometers an; in diesem Falle nimmt jedoch die Erweiterung die Form von Abb. 29, 10 an, und es kann im dünnen Röhrrchen an der äussersten Spitze sehr leicht ein zufällig dahin verschlagenes Quecksilbertröpfchen haften bleiben.

Verkürzte Thermometer, d. h. solche, welche Null- und Siedepunkt, aber nur einen Theil der Scala besitzen, versieht man mit ein oder zwei Erweiterungen, welche so viel Quecksilber fassen, als der fehlende Theil der Röhre enthält. Diese Aufblasungen besitzen die Gestalt von Abb. 29, 10 und werden gleich bei Beginn der Arbeit in der eben besprochenen Weise hergestellt.

Ein Thermometer nach deutscher Art mit in der Röhre eingeschlossener Scala anzufertigen, ist weit schwerer. Der Gang der Arbeit ist folgender. Das ausgesuchte und abgesehne Stück einer Röhre, deren Lumen einen abgeflachten

Querschnitt besitzt, wird an dem einen Ende einfach zugeschmolzen, während das andere Ende beim Zuschmelzen zu einem Faden ausgezogen wird (Abb. 30,<sub>1</sub>). Dieses Ende wird an der Spitze bis zum Weichwerden erwärmt, worauf man die ganze Röhre erhitzt, ohne im Erwärmen der Spitze innezuhalten und, indem man den Faden ein wenig zieht, eine längliche Aufblasung (Abb. 30,<sub>2</sub>) entstehen lässt, welche an der Basis abgeschnitten wird. An die auf diese Art entstandene trichterförmige Erweiterung schmilzt man eine breitere Röhre an und macht an der Verbindungs-Stelle eine Biegung, um hernach die Scala darauf stützen zu können, da die Röhre selbst so eng ist, dass beim Biegen ein Zuschmelzen derselben nicht vermieden werden kann. Das Ende der angeschmolzenen Röhre wird aufgeblasen und abgeschnitten, so dass man eine trichterförmige Erweiterung erhält (Abb. 30,<sub>3,4,5</sub>). Nachdem man hierauf auch für die äussere Hülle eine

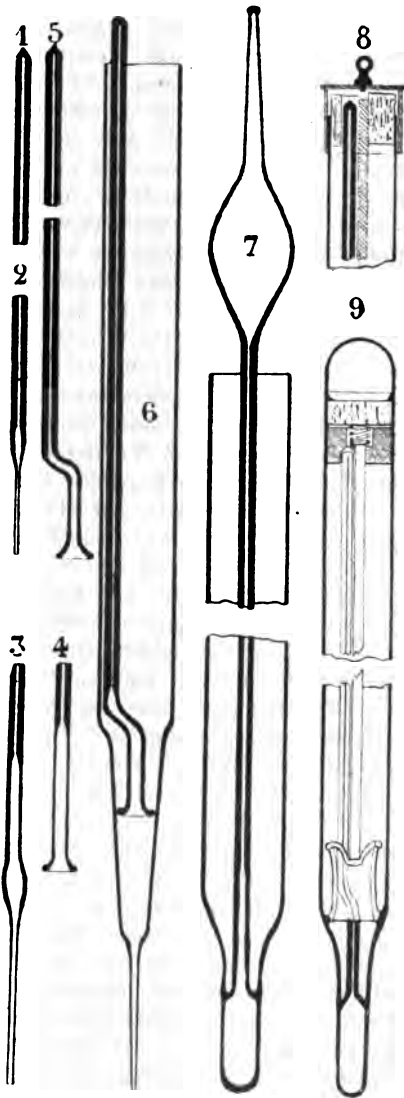


Abb. 30.

Röhre ausgewählt und abgeschnitten hat, zieht man deren Ende, aus welchem das Reservoir geformt werden soll, so aus, dass die Erweiterung am Ende der inneren Röhre die Wände der äusseren in der Höhe des oberen Reservoirendes genau berühren kann (Abb. 30, 6). Hierauf stellt man die innere Röhre ein, klebt das hervorragende obere Ende derselben an die äussere Röhre und löthet die untere Erweiterung sorgfältig ein. Zu diesem Zweck muss man die äussere Röhre im Berührungspunkt bis zum völligen Weichwerden erhitzen und, wenn man bemerkt, dass das Glas rund herum zusammenschmolzen ist, zuerst ein wenig in das obere Ende der äusseren Röhre und hierauf in das untere Ende derselben (Abb. 30, 6) blasen. Die aufgeblasene Stelle lässt man sich wieder zusammenziehen, bläst dieselbe von neuem auf und wiederholt diese Operation mehrere Male, bis man von der vollständigen Vereinigung beider Röhren überzeugt ist. Hierauf formt man das Reservoir in der bereits bekannten Weise. Jetzt erst öffnet man das obere Ende der Thermometerröhre und schmilzt ein Hilfsreservoir daran (Abb. 30, 7); zu diesem Zweck muss man bei äusserst dünnen Röhren das Ende, wie bei Abb. 30, 2, aufblasen. Wenn an der Röhre Aufblasungen zwecks Verkürzung der Scala erforderlich sind, so macht man diese noch vor dem Anfertigen der Erweiterung am unteren Ende.

Früher fertigte man die Thermometer von dieser Gattung auf eine andere Weise an. Das Reservoir bildete mit der Thermometerröhre ein Ganzes, die äussere Hülle wurde aufgelöthet (Abb. 19, 2). Die neue Methode hat sich jedoch als die practischere erwiesen. Das Füllen der Einschluss-thermometer bietet nichts besonderes und wird mit Hilfe des weiten Reservoirs (Abb. 30, 7) oder ohne ein solches vorgenommen, je nachdem, ob ein genaues wissenschaftliches oder medicinisches Thermometer angefertigt werden soll, oder ob es sich um die Herstellung eines einfachen, billigen Thermometers handelt. Nachdem man das obere Ende der äusseren Röhre erwärmt hat, kann man die innere so abschmelzen, dass das Ende derselben niedriger wird als der äussere Rand; hierauf schmilzt man das Ende der äusseren Röhre entweder direct zu, oder schmilzt zu diesem Zweck

ein Röhrenstück von gleichem Diameter an. Die Scala wird aus einer Milchglasplatte angefertigt, welche man aus einer grösseren Scheibe, manchmal aber auch aus einem auf der Fabrik ausgezogenen Streifen mit Hilfe eines Diamanten schneidet. Man befestigt die Scala vorzüglich am oberen Ende der Röhre, indem man die Milchglasplatte zwischen den Hälften eines zerschnittenen Korkes einspannt (Abb. 30, s). Dank der Reibung kann man die Scala auf diese Weise genau einstellen und hierauf an das obere Ende der Röhre mit Siegellack ein Messinghütchen ankitten. Eine Papierscala wird zu einem Röhrechen zusammengerollt und an zwei Stellen mit Siegellack- oder Wachströpfchen versehen; die Thermometerröhre lässt man in diesem Falle die Hülle berühren, wie dieses auch auf der Abbildung zu sehen ist. Wenn man die Papierscala hierauf in die Röhre schiebt, so wird dieselbe sich fest darin halten, da das Papier bestrebt ist, sich aufzurollen. Die Röhre kann man jetzt zuschmelzen oder ein Hütchen auf dieselbe aufkitten; selbst nachdem dieses geschehen ist, kann man die Scala verschieben, indem man an das Thermometer klopft. Wenn die Scala endlich die richtige Stellung eingenommen hat, so erwärmt man die Hülle an den Punkten, an welchen die Papierscala mit Siegellack resp. Wachs versehen ist, damit das Papier anklebe. Auf dieselbe Art befestigt man auch oft eine gläserne Scala oben und unten an die äussere Hülle.

Eine Glasscala, welche bloss an dem oberen Ende mit Hilfe eines Korkes oder mittelst Siegellack befestigt ist, kann sich im Laufe der Zeit leicht verrücken. Der Berliner Mechaniker E. Fuess hat nun eine weit sicherere Methode zum Befestigen der Scala erfunden (s. Abb. 30, s). Das untere Ende sitzt fest in der Vertiefung eines besonderen trichterförmigen Röhrenstückes, welches in das untere Ende der Hülle eingelöthet ist. Das obere Ende dagegen steckt in der Spalte eines Hartgummicylinders, der von oben durch einen mit Schellack ausgegossenen Kork angedrückt wird; zwischen dem Kork und dem Eberniteylinder befindet sich überdies noch eine Spiralfeder. Zuguterletzt wird die äussere Hülle noch zugeschmolzen oder, wenn man das Thermometer

nicht zu sehr verlängern will, mit einem Messinghütchen versehen. Augenscheinlich muss man eine Scala, welche auf diese Art befestigt werden soll, mit einem Male richtig einstellen, und man kann dieselbe nicht verschieben, falls der Nullpunkt nachträglich seine Lage verändern sollte. Die Anfertigung eines solchen Thermometers fällt einem erfahrenen Glasbläser nicht besonders schwer. Zuerst kehrt man den Rand einer Röhre zu einem konischen Trichter aus, erwärmt diesen und drückt den Rand desselben etwas schwächer als nöthig in diametraler Richtung mit der Kante einer Glasplatte, die dünner ist als die Scala, ein. Nun erwärmt man die beiden auf diese Art entstandenen Ecken und drückt für einen Augenblick die Scala an, damit sich zwei scharf abgegrenzte Vertiefungen für das untere Ende derselben bilden. Die Ränder dieser trichterförmigen Stütze kann man, wenn nöthig, mit Hilfe einer Pincette egalisiren. Hierauf schneidet man den überflüssigen Theil der Röhre ab, kehrt das untere Ende aus und schmilzt den Trichter ganz wie die Thermometerröhre, doch noch vor dieser, ein.

Die Scalen der allergewöhnlichsten billigen Thermometer sind entweder gedruckte Papier- oder gestanzte Holz- und Metallscalen; man wählt aus einer mehr oder weniger grossen Anzahl von solchen eine zu der angefertigten Röhre gerade passende aus. Damit ist noch nicht gesagt, dass man sehr viele Scalen mit Theilungen von verschiedener Länge besitzen muss; gewöhnlich beträgt ein Grad eines Zimmerthermometers 2—3 mm. Nun kann aber ein erfahrener Meister sehr gut ein Thermometer anfertigen, dessen Grade 2—3 mm lang sind; folglich kann man aus 20 Scalen, bei welchen die Länge von 20° 40—60 mm beträgt, sehr leicht eine solche aussuchen, bei der die Entfernung von 0°—20° sich höchstens um 1 mm von demselben Abstand auf dem Thermometer unterscheidet.

Die Scalen der besseren Thermometer werden mit Hilfe einer Theilmaschine gefeilt, und zwar auf Grund von Vergleichen mit der Länge entweder von 20°, oder des Fundamentalabstandes von 0° bis zum Siedepunkt des Wassers. Eine Correctur in Bezug auf den Barometerstand nehmen die meisten deutschen Thermometermacher gewöhnlich nicht

vor, aus dem einfachen Grunde, dass sie davon nichts verstehen. Bei den sogenannten „normalen“ und „chemischen“ Thermometern (welche auf der Scala die beiden unveränderlichen Punkte enthalten) bestimmen die Thermometermacher, ebenso wie bei den „medizinischen“ Thermometern, einige Punkte, welche je  $20^{\circ}$  R., resp.  $25^{\circ}$  C. von einander entfernt sind, auf Grund von Vergleichen mit einem Normalthermometer und theilen jeden von den erhaltenen ungleichen Zwischenräumen in unter sich gleiche Theile. Alle im Handel zu habenden Thermometer von der besseren Qualität sind in dieser Weise getheilt, daher betragen die Fehler selten mehr als  $1^{\circ}$ ; dafür kann man dieselben aber auch nicht calibriren, wenn eine grössere Genauigkeit erforderlich ist, da eben die Grösse der Theilungen der Scala sich nicht ununterbrochen, sondern sprungweise verändert. Die gegenwärtig gebräuchlichen wissenschaftlichen Thermometer endlich werden mit Scalen versehen, welche auf einer guten Theilmaschine angefertigt sind und bei welchen der Abstand vom Gefrierbis zum Siedepunkt bei normalem Luftdruck nach dem Decimalsystem getheilt ist. Soll das Thermometer eine veränderte Scala besitzen, so bestimmt man den Inhalt der Erweiterungen mittelst Calibrirens.

Ueber die Construction und Anwendung der Theilmaschinen findet man das Nöthige in den Lehrbüchern der Physik; das Aetzen von Theilungen auf Glas dagegen ist bereits oben, im Abschnitt über Apparate zur Mafsenanalyse, berücksichtigt worden. Die Glasbläser benutzen jedoch bei groben Arbeiten Theilmaschinen ohne Schraube, deren Construction auf den Eigenschaften ähnlicher Dreiecke und paralleler Linien beruht. Eine Beschreibung und Abbildung von einer solchen Maschine findet sich in Dr. Frick's bekanntem Werke „Die physicalische Technik“; Theilmaschinen von dieser Construction auch hier zu beschreiben, halte ich nicht für nöthig, da dieselben sehr ungenau sind. Der Vortheil solcher Maschinen besteht bloss in der Billigkeit und in dem Umstande, dass man mit Hilfe derselben sehr schnell arbeiten kann; wenn man mit unbewaffnetem Auge bemerkt, dass zwei benachbarte Grade eines Thermometers nicht gleich sind, so sind die Theilungen jedenfalls mittelst einer solchen ungenauen Maschine aufgetragen.

Die thüringer Glasbläser benutzen gewöhnlich Theilmaschinen von dieser Construction, welche ihnen die Möglichkeit geben, eine bestimmte Strecke in 100, 80 oder irgend eine andere Anzahl Theile, welche die Anzahl der Einschnitte auf einem zur Maschine gehörigen Lineal nicht übertrifft, zu theilen. Wahrscheinlich ist dieses der Hauptgrund dafür, dass bei den käuflichen Thermometern keine Correctur des Siedepunktes in Bezug auf den atmosphärischen Druck vorgenommen wird. In der That, wenn man weiss, dass die beispielsweise bei 750 mm Barometerstand gefundene Entfernung von  $0^{\circ}$  bis zum Siedepunkt in Wirklichkeit (d. h. bei normalem Luftdruck) bloss  $99,63^{\circ}$  C. enthält, so muss man also  $\frac{1}{99,63}$  dieser Entfernung nehmen und diesen Theil 100 mal abtragen, indem man von  $0^{\circ}$  beginnt um auf der Scala die Stelle des wirklichen Siedepunktes zu erhalten. Diese Operation kann aber unmöglich mit Hilfe einer solchen Theilmachine vorgenommen werden; aus diesem Grunde muss man denn auch den Fehler unberücksichtigt lassen.

Es lässt sich indessen die Sache anders einrichten. Man berechnet die Entfernung des wirklichen Siedepunktes vom gefundenen, trägt ersteren auf die Scala auf und theilt die Entfernung desselben von  $0^{\circ}$  in 100 gleiche Theile; eine solche Theilung kann man aber auch ganz gut mit Hilfe der erwähnten vereinfachten Theilmachine vornehmen. Um sich die Arbeit (des Berechnens) zu erleichtern, kann man in der Regnault'schen Tabelle nachschlagen, um wie viel Grade (oder Theile von solchen) die Siedetemperatur niedriger oder höher ist als  $100^{\circ}$ , wenn der atmosphärische Druck um eine ganze Anzahl von Millimetern niedriger oder höher ist als 760 mm. Die gefundene Zahl wird die Entfernung des wirklichen Siedepunktes vom gefundenen bei einem Thermometer, bei dem der Fundamentalabstand 100 mm beträgt, in Millimetern angeben. Ist die Entfernung von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$   $n$  mal so gross, so braucht man die in der Tabelle gefundene Zahl bloss mit  $n$  zu multipliciren, um die gewünschte Entfernung, in Millimetern ausgedrückt, zu finden.

Beifolgende Tabelle ist nach einer weit ausführlicheren Tabelle von O. J. Broch berechnet, welche dieser auf Grund von Regnault's Versuchen zusammengestellt und im 1. Bande

der „Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures“  
pp. 47—48 A. veröffentlicht hat.

Der Siedepunkt ist niedriger als 100° um	Wenn der Druck sich von 760 mm unter- scheidet um mm	Der Siedepunkt ist höher als 100° um
°		°
0,037	1	0,037
074	2	073
111	3	110
147	4	146
184	5	183
221	6	219
258	7	256
295	8	292
332	9	329
369	10	365
406	1	401
444	2	437
481	3	474
518	4	510
555	5	546
593	6	582
630	7	618
667	8	654
705	9	690
742	20	726
780	1	762
817	2	798
855	3	833
893	4	869
931	5	905
968	6	941
1,006	7	976
044	8	1,012
0,082	9	0,047
120	30	083

Für Glasbläser von Beruf, welche nicht besonders stark  
in der Arithmetik sind, könnte man eine besondere Tabelle



zusammenstellen, um die Multiplication durch Addition zu ersetzen. Zu diesem Zweck müsste man Columnen, welche die der Reihe nach mit 2, 3 . . . 9 multiplicirten Zahlen der ersten und dritten Reihe enthalten, hinzufügen; der Glasbläser brauchte dann statt der Multiplication die der Tabelle entnommenen Zahlen bloss zu addiren, indem er hierbei die Kommata richtig versetzt, ähnlich wie man dieses beim Gebrauche von Tabellen zur Reduction von Maßen thut.

Man hat eine Menge Aenderungen in der Construction des Thermometers zu verschiedenen Zwecken vorgeschlagen und nicht wenig darüber zusammengeschrieben; grösstentheils haben sich aber diese Veränderungen in der Praxis nicht bewährt und sind daher wieder vergessen worden. Eine Ausnahme hiervon machen die medicinischen Maximalthermometer, welche sich einer grossen Verbreitung und häufigen Anwendung erfreuen. Bekanntlich ist in diesen ein kleines Quecksilbertröpfchen durch eine Luftblase von der Säule getrennt; beim Steigen der Temperatur schiebt das Quecksilber dieses kleine Sälchen vor sich her, während letzteres beim Fallen der Temperatur stehen bleibt. Will man einen neuen Versuch machen, so muss man das Tröpfchen nach unten bringen, zu welchem Zweck man das Thermometer schüttelt<sup>1)</sup>. Die Grade der medicinischen Thermometer sind gewöhnlich in Zehntel eingetheilt, und es erstrecken sich die Theilungen bloss von 35°—42° C.; auf den besseren findet man auch den Nullpunkt vermerkt, damit man nöthigenfalls das Thermometer justiren kann. Die Luftblase, welche das Quecksilbersälchen trennt, kann jedoch an den Röhrenwänden haften bleiben; das Tröpfchen vereinigt sich dann, da es durch nichts behindert wird, mit dem übrigen Quecksilber, und das Thermometer ist eben kein Maximalthermometer mehr. Das beste Mittel wider dieses Uebel ist ein fester Glasfaden, welchen man in's Reservoir in der Richtung der Thermometeraxe so einlöthet, dass der Faden bis in das

<sup>1)</sup> Diese Methode ist jedoch gar nicht empfehlenswerth; weit ungefährlicher für das Thermometer ist es, wenn man die Centrifugalkraft wirken lässt; man fasst dann das Thermometer mit der Faust am oberen Ende an und schwingt die ausgestreckte Hand recht schnell.

erweiterte Ende der Röhre reicht. Das Quecksilbersälchen wird sich dann stets an der Stelle trennen, wo das Ende des Glasfadens den Querschnitt der Röhre plötzlich verringert. Das Maximalthermometer ist durchaus nicht absolut zuverlässig; wenn die Temperatur steigt, so veranlasst gewöhnlich ein leichter Stoss, dass das Sälchen sich etwa um einen ganzen Theilstrich nach oben hin verschiebt, da das trennende Luftbläschen elastisch ist.

Ein Quecksilberthermometer mit einem luftleeren Raum über der Säule kann höchstens bis zu  $250^{\circ}$ — $360^{\circ}$  gebraucht werden, da bei einer höheren Temperatur Quecksilber im luftleeren Raum siedet. Um aber doch höhere Temperaturen, bis  $450$  und sogar  $500^{\circ}$ , beobachten zu können, lässt man beim Zuschmelzen in's Thermometer Stickstoff oder Kohlensäure unter dem Druck von einer Atmosphäre eintreten. Dieses zu bewerkstelligen, fällt nicht schwer; wenn das Thermometer gefüllt und das Hilfsreservoir nach Entfernung der Luft durch Kochen des Quecksilbers zugeschmolzen ist, so zieht man über die beim Zuschmelzen entstandene Spitze des Reservoirs eine Kautschukröhre, die in ein Gefäss mit Stickstoff führt, öffnet den Hahn des Gefässes, bevor noch das Kautschukrohr fest auf der Spitze sitzt, zieht die Röhre fest über die letztere, wenn der Stickstoffstrom die in der Kautschukröhre vorhandene Luft bereits verdrängt hat, und bricht hierauf das zugeschmolzene Ende innerhalb des Kautschukrohres ab. Der Stickstoff füllt den luftleeren Raum, worauf man das Hilfsreservoir einfach abschmilzt. Man muss aber das Ende der Röhre mit einer Erweiterung versehen, da die Spannkraft der Luft sonst zu stark wird, wenn die Quecksilbersäule das Ende der Scala erreicht hat, besonders wenn man dabei das Ende des Thermometers erwärmt. Das Volumen der Erweiterung berechnet man für 4 oder 5 Atmosphären inneren Druckes. Solche Thermometer kann man im fertigen Zustande nicht calibriren, da die Spannkraft des Gases ein Trennen und Verschieben der Quecksilbersälchen nicht gestattet; man muss also das Calibriren noch vor der Einführung des Stickstoffes vornehmen.

Man kann übrigens auch Gase unter dem Druck von mehr als einer Atmosphäre in Thermometer einführen. Zu

diesem Zweck lässt man über der ersten Erweiterung im oberen Theile der Thermometerröhre eine zweite sich bilden und bringt in diese ein Schellackkörnchen hinein. Hierauf verbindet man die Röhre mit einer Compressionspumpe, comprimirt das Gas in erforderlichem Mafse und schmilzt dann den Schellack, welcher in den dünnen Theil der Röhre fliesst und dieselbe hermetisch verschliesst. Es erübrigt nun bloss, die Röhre der grösseren Sicherheit halber oberhalb dieser Stelle zuzuschmelzen. Man muss nicht vergessen, dass das Reservoir eines solchen Thermometers mit Gewalt in Stücke fliegt, wenn irgendwo auch nur ein kleiner Riss entsteht.

### b) Die Prüfung der Thermometer.

In den Lehrbüchern der Physik wird gewöhnlich auf die Unvollkommenheit des Quecksilberthermometers hingewiesen, die zahlreiche Correctionen nöthig macht, ohne welche die Angaben eines Thermometers sehr weit von der Wirklichkeit entfernt sind. Seit der Begründung des Internationalen Bureaus der Gewichte und Mafse in Sèvres bei Paris ist man der Lösung der Frage von der rationellen Benutzung der Quecksilberthermometer, hauptsächlich dank der Arbeiten der Mitglieder genannten Bureaus, um ein Bedeutendes näher gekommen. Eine detaillirte Darlegung der Arbeiten des Bureaus findet sich in den Memoiren desselben, theilweise aber auch in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, während die Ergebnisse der Arbeiten in der „Thermométrie de précision. Paris 1889.“ von C. E. Guillaume gesammelt sind. Es sollen hier nun auf Grund genannter Arbeiten die Regeln für die Benutzung von Quecksilberthermometern kurz und dogmatisch dargelegt werden.

Manchmal dient ein Thermometer während eines Experimentes bloss zur Bestimmung von Nebenumständen, bei chemischen Analysen z. B. zum Bestimmen der Temperatur des Trockenschrankes, in welchem man den zu analysirenden Niederschlag trocknen lässt. Hierbei bedeutet ein Fehlen von 1—2 Graden garnichts; man kann ja nicht einmal wissen, ob die Temperatur des Körpers sich nicht wirklich um die Grösse von der Temperatur des Thermometers unterscheidet. Zu solchen Arbeiten sind die verkäuflichen ge-

wöhnlichen chemischen Thermometer gut genug; man braucht dieselben höchstens einfach durchzusehen, da die Thermometer zufälligerweise fehlerhaft sein können. So hatte ich z. B. einst ein in einer soliden Handlung mit physikalischen Apparaten gekauftes Thermometer gesehen, welches bloss 99 Grade zwischen  $0^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  besass; wir werden weiter unten sehen, dass der Nullpunkt bei Thermometern für hohe Temperaturen während der Arbeit manchmal um mehr als  $20^{\circ}$  steigt.

Eine ganz andere Sache ist es mit den Thermometern für wissenschaftliche Temperaturbestimmungen. Hier muss man alle nur möglichen Vorsichtsmaassregeln anwenden, wenn man richtige Resultate erzielen will und der Fehler des Thermometers bloss Hundertstel von  $1^{\circ}$  C. betragen soll. So wird z. B. ein  $0,1^{\circ}$  C. betragender Fehler bei der Temperaturbestimmung während des Vergleichens von verschiedenen Meterstäben bewirken, dass beispielsweise die Länge eines Messingstabes sich um  $0,002$  mm verändert; dieser Fehler ist aber bei genauen Vergleichen nicht zulässig. In solchen Fällen soll man nur gut justirte Thermometer von den bekanntesten Meistern (wie etwa Tenelot in Paris und Fuess in Berlin) anwenden. Uebrigens verkauft man in letzter Zeit auch weit billigere Thermometer aus jenaischem Normalglas (Fabrikmarke: ein rother Längsstreifen auf der Röhre); diese Apparate können, nachdem man dieselben calibrirt und justirt hat, manchmal recht gute Resultate geben, da die constanten Punkte bei solchen sich eben so wenig verändern, wie bei den Thermometern von der besten Qualität. Es gelingt jedoch nicht immer, diese Thermometer zu calibriren, da dieselben gewöhnlich nicht in gleiche Theile getheilt, sondern auf Grund von Vergleichen graduirt sind, wodurch die Länge der Theilungen sich sprungweise verändert.

Unter Beobachtung aller erdenklichen Vorsichtsmaassregeln hat man es im Internationalen Bureau so weit gebracht, dass Thermometer für Temperaturen zwischen  $0^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  auf Hundertstel von Graden genau sind, während die Fehler höchstens 3 oder 4 Tausendstel betragen. Bei höheren Temperaturen sind die Veränderungen des Nullpunktes so

gross, dass die Fehler sehr bedeutend werden können, wie wir übrigens weiter unten sehen werden. Eine solche Genauigkeit ist jedoch bloss bei Thermometern aus französischem hartem Glas („verre dur“) oder jenaischem Normalglas möglich; die Fehler bei Thermometern aus gewöhnlichem thüringer Glas und französischem Krystallglas sind wohl 10 mal so gross, da der Nullpunkt bei solchen sich sehr bedeutend verändert.

Als „normaler“ Grad eines Quecksilberthermometers gilt der hundertste Theil der Entfernung zwischen den folgendermassen definirten constanten Punkten <sup>1)</sup>:

0° bezeichnet die Temperatur des thauenden Eises bei einem Luftdruck, welcher dem Druck einer Quecksilbersäule von 76 cm entspricht.

100° bezeichnet die Temperatur des kochenden reinen Wassers bei einem Druck von 76 cm Quecksilber mit einem specifischen Gewicht von 13,59593, auf 45° geographischer Breite und in der Höhe des Meeresniveaus reducirt.

Der Nullpunkt soll auf der Scala so schnell wie möglich nach der Bestimmung des Siedepunktes fixirt werden, damit eine Veränderung der constanten Punkte infolge der elastischen Nachwirkung des Thermometerglases nach Möglichkeit ausgeschlossen sei.

Bei Thermometern aus „hartem“ Glas und jenaischem Normalglas liegt die Veränderung des Abstandes zwischen den beiden auf diese Art bestimmten constanten Punkten jenseits der Grenze der Beobachtungsfehler <sup>2)</sup>.

Diese Definition des „normalen“ Grades unterscheidet sich ein wenig von der üblichen. So gibt z. B. bei den Versuchen von Regnault der Druck von 760 mm Quecksilber bei 0°, wenn man denselben auf 45° geographischer Breite und in der Höhe des Meeresniveaus reducirt, bloss 759,7462 mm. Aus diesem Grunde sind Regnault's Grade ein wenig grösser als die normalen und man muss bei Reductionen letztere mit 1,000093166 multipliciren. Broch hat die bekannte Regnault'sche Tabelle der Siedepunkte des Wassers in normale Grade umgerechnet, und zwar für je 0,1 mm

<sup>1)</sup> S. B. I, S. A. 43, O. J. Broch, Points fixes des thermomètres.

<sup>2)</sup> S. B. V, S. 67, Ch. Ed. Guillaume, Etudes thermométriques.

zwischen 680 und 800 mm<sup>1)</sup>. Für St. Petersburg, d. h. für den 60. Breitengrad bestimmt er die Höhe einer 760 mm auf dem 45. Breitengrad entsprechenden Säule Quecksilbers mit einem specifischen Gewicht von 13,59593 mit 759,017 mm. Mit anderen Worten: in St. Petersburg entsprechen 100<sup>o</sup> C. der Temperatur des siedenden Wassers bei einem zu 0<sup>o</sup> reducirten Barometerstand von 759,017 mm.

Nach vielen vom Bureau angestellten Untersuchungen ergab sich, dass die von Tonelot in Paris hergestellten Thermometer die besten seien. Die Anfertigungsmethode derselben ist folgende.

Das Glas, welches dazu genommen wird, ist das sogenannte „verre dur et vert“ und ist von einer besonderen Zusammensetzung; es ist dieses augenscheinlich eine ziemlich schwer schmelzbare Glassorte, deren Zusammensetzung sich jedoch von derjenigen der zu Glasblasearbeiten verwandten leicht schmelzbaren Röhren unterscheidet. Die Analyse dieses Glases ergab folgende Zusammensetzung:

Kieselerde	71,52
Kalk	14,55
Natron	10,81
Kali	0,37
Thonerde	1,57
Eisenoxyd	0,22
Schwefelsäure	0,72
	<hr/>
	99,76

An eine sorgfältig ausgesuchte Röhre von diesem Glase mit 3,5—5,5 mm äusserem Durchmesser schmilzt man ein Reservoir aus einer cylindrischen Röhre von gleicher Zusammensetzung mit ungefähr 0,5 mm dicken Wänden an. Durch Aufblasen erhaltene Reservoirs besitzen gewöhnlich zu dünne und ungleichmässige Wände. Die Theilungen werden mit Hilfe der Frohmann'schen Theilmaschine, deren Fehler höchstens 0,01 mm betragen, aufgetragen. Die Länge eines Grades beträgt 6—7 mm, aus welchem Grunde ein solcher Fehler bei der Theilung nicht berücksichtigt werden kann.

<sup>1)</sup> S. B. I, S. A. 46, 47 und 48. Travaux et mémoires du bureau international des poids et mesures.

Der Hauptgrund für die Unrichtigkeiten bei Bestimmung der Temperatur, welche ein Quecksilberthermometer zeigt, liegt in der Veränderlichkeit des Reservoirinhaltes bei  $0^{\circ}$ , was eine Folge der elastischen Nachwirkung ist. Das Volumen vergrößert sich bei jeder neuen Erwärmung, und zwar um so mehr, je stärker und andauernder dieses Erwärmen war; bei einer bestimmten Temperatur besitzt jedoch diese Erweiterung des Reservoirs eine bestimmte Grenze. Es ist ganz unmöglich, diese Grenze des Nullpunktes bei einem bis zur Temperatur  $t$  erwärmten Thermometer zu bestimmen; während das Thermometer erkaltet, verrichtet die elastische Nachwirkung ihre Arbeit, und wenn die Quecksilbersäule allmählich bis auf  $0^{\circ}$  gefallen ist, so ist das Volumen des Reservoirs nicht dasjenige, welches es wäre, wenn das Thermometer momentan erkaltet wäre. Indessen hat eine bedeutende Anzahl von Beispielen gezeigt, dass, wenn man ein Thermometer in 2—3 Minuten schnell abkühlt, das Reservoir sich nicht so weit vergrößern kann, dass man diese Erweiterung messen könnte, weil der Nullpunkt in diesem Falle seine Lage um ein ganz Unmerkliches verändert. Aus diesem Grunde kann man die Lage des Nullpunktes, welche man so schnell wie möglich nach dem Messen der Temperatur  $t$  bestimmt, für die Lage dieses Punktes (und somit als Maß des Reservoirinhaltes) in dem Augenblicke ansehen, in welchem das Thermometer die Temperatur  $t$  besass, obwohl dieses nicht ganz richtig ist.

Der Nullpunkt verändert jedoch seine Lage mit der Zeit, selbst wenn das Thermometer stets bei gleicher Temperatur gehalten wird. Nach Pernetz Versuchen <sup>1)</sup> steigt der Nullpunkt allmählich im Laufe der Monate und Jahre, wobei derselbe sich seinem stabilen Grenzwerte nähert, was bei höheren Temperaturen schneller vor sich geht, bei niedrigeren dagegen langsamer. Das Steigen des Nullpunktes wird noch schneller, wenn man das Thermometer langsam bis zu  $0^{\circ}$  abkühlt; durch schnelleres Erkalten wird das Steigen verlangsamt, und der Nullpunkt verbleibt dann recht lange in einer und derselben Lage.

<sup>1)</sup> Siehe B. I, S. B. 1—52.

Wenn man Thermometer bis zu  $300^{\circ}$ ,  $400^{\circ}$  und sogar  $500^{\circ}$  erwärmt, so verändert der Nullpunkt seine Lage um 20 und noch mehr Grade. Es ist klar, dass wir es in diesem Falle mit zwei sich deckenden, weil gewissermaßen verschiedene Vorzeichen besitzenden Erscheinungen zu thun haben. Eine jede schnelle Temperaturerhöhung ruft eine Erweiterung des Reservoirs hervor, welche auch nach dem Erkalten nicht ganz verschwindet und ein Fallen des Nullpunktes zur Folge hat. Bleibt dagegen die Temperatur im Laufe von Stunden und Tagen stets die gleiche, so tritt das Gegenteil ein; das Thermometerreservoir zieht sich zusammen — und der Nullpunkt steigt. Bei niedrigen Temperaturen geht dieses langsam vor sich, und es sind Tage, ja Monate erforderlich, wenn diese Erscheinung beobachtet werden soll; bei  $300$ — $400^{\circ}$  dagegen genügt ein stundenlanges Erwärmen, um den Gefrierpunkt um  $3^{\circ}$  oder  $4^{\circ}$  zu erhöhen. Wenn man ein Thermometer aus jenaischem Glas, mit Stickstoff über dem Quecksilber, im Laufe eines Tages bis zu  $450^{\circ}$  erwärmt, so steigt der Nullpunkt um  $20^{\circ}$ , nimmt aber diese Stelle auf längere Zeit ein; ein neues Erwärmen bis zu der Temperatur, bei welcher das Glas angelassen wurde, verändert dann die Lage genannten Punktes unmerklich. Erst bei  $500^{\circ}$ , wenn das Glas bereits weich wird, sinkt bei Stickstoffthermometern der Nullpunkt unter der Einwirkung des inneren Druckes.

Diese Veränderlichkeit der Lage des Nullpunktes veranlasst ein häufiges Controlliren derselben; deshalb soll ein wirklich genaues Thermometer diesen Punkt der Scala durchaus besitzen. Wenn aber die Grade 6—7 mm lang sind, so wird das ganze Thermometer auch entsprechend lang. Daher wendet man im Bureau Thermometer von folgender Construction an:

Thermometer 1. Ordnung, sog. normale; die Länge eines Grades beträgt bei diesen 5 mm und die Grade sind in Zehntel getheilt; die Scala ist vollständig, d. h. sie reicht von  $0^{\circ}$  bis  $100^{\circ}$ .

Die Thermometer 2. Ordnung besitzen auf der Scala ebenfalls Null- und Siedepunkt, sind aber, der Verkürzung der Scala halber, mit einer oder zwei Aufblasungen versehen, und zwar befindet sich im ersten Falle die Aufblasung



zwischen  $50^{\circ}$  und  $100^{\circ}$ , während von zwei Erweiterungen die eine zwischen  $38^{\circ}$  und  $66^{\circ}$ , die andere zwischen  $66^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  liegt. Die Lage der  $66\frac{2}{3}^{\circ}$  und  $33\frac{1}{3}^{\circ}$  bezeichnenden Punkte wird durch Calibriren bestimmt, indem der Fundamentalabstand in 2 oder 3 Theile von gleichem Volumen getheilt wird. Bei einem so eingerichteten Thermometer kann ein Grad 6 bis 8 mm lang sein, weswegen aber das ganze Thermometer nicht unnützerweise verlängert zu werden braucht.

Ein jedes Thermometer wird einer gründlichen Untersuchung unterworfen:

I. untersucht man die Theilungen der Scala und calibriert dieselben, um Eintheilungen von gleichen Volumen zu erhalten;

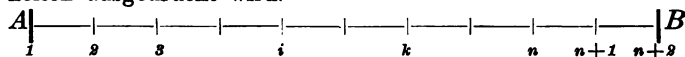
II. bestimmt man den Druckcoefficienten, damit die Veränderungen des Quecksilberniveaus, welche durch den mechanischen Druck aufs Reservoir veranlasst werden, nach Möglichkeit corrigirt werden können;

III. endlich werden die constanten Punkte bestimmt, damit der Durchschnittswerth einer Theilung in Normalgraden bekannt sei.

Sehen wir nun zu, wie diese Untersuchungen im Internationalen Bureau vorgenommen werden.

### I. Das Calibriren.

Die Aufgabe des Calibrirens irgend einer Scala, welche in  $n + 1$  nahezu gleiche Theile getheilt ist, besteht im Auffinden der Correctionen  $x_1, x_2 \dots x_{n+1}$ , welche man zu den mittelst dieser Scala erhaltenen Resultaten addiren muss, damit letztere gleich den Angaben einer absolut richtigen Scala von derselben Einrichtung seien. So ist z. B. die Entfernung zwischen den Punkten  $k$  und  $i$  dieser Scala, welche letztere  $\frac{1}{n+1}$  der gleich  $L$  gesetzten Scala repräsentirt, in Wirklichkeit gleich  $k - i + (x_k - x_i)$ , ausgedrückt in Einheiten der berichtigten Scala, während  $\frac{1}{n+1}$  von  $L$  in Wirklichkeit durch  $k - i - (x_k - x_i)$  von denselben Einheiten ausgedrückt wird.



Gewöhnlich jedoch sollen solche Entfernungen in irgend einer absoluten Mafseinheit ausgedrückt werden; man vergleicht dann entweder die ganze Scala  $AB$  mit einem Normalmafsstabe, oder bestimmt die Länge derselben mit Hilfe irgend eines besonderen Experimentes. Dieses erlaubt uns, die Correctionen  $x_1$  und  $x_{n+2}$  beim Calibriren gleich 0 oder irgend einer bekannten Grösse zu setzen. Alle Calibrirungsmethoden beruhen auf der Voraussetzung, dass die Fehler äusserst klein seien, woher die Correctionen der Bruchtheile von Graden nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Nach Gay-Lussacs bekannter Methode trennt man von der ganzen

Quecksilbermenge ein Sälchen ab, dessen Länge  $\frac{1}{n+1}$  der ganzen Scala sehr nahe kommt, bringt das Ende desselben der Reihe nach auf den 1, 2, ...  $(n+1)$  Punkt der Scala und bestimmt  $d_2, d_3 \dots d_{n+2}$ , d. h. die äusserst kleinen Differenzen zwischen der Lage des anderen Sälchenendes und derjenigen der Theilpunkte 2, 3, ...  $n+2$ . Das Volumen der ganzen Röhre wird gleich sein dem  $(n+1)$ -fachen des Volumens des Sälchens, vermindert um die algebraische Summe aller  $d$ . Wenn die zuletzt genannte Summe sehr klein ist, so werden die Correctionen recht unbedeutend und noch geringer die Differenzen der Correctionen, die man erhalten würde, wenn diese Grösse an verschiedenen Stellen der Scala gemessen werden sollte.

Daher kann man annehmen, dass das Volumen von  $\frac{1}{n+1}$  der Röhre gleich ist dem Volumen des Sälchens, vermindert um  $\frac{\Sigma d}{n+1}$ . Hieraus die gesuchten  $x_2, x_3 \dots x_{n+1}$  zu erhalten, hält nicht schwer. In der That: das Volumen des Sälchens ist gleich  $\frac{1}{n+1}$  des Volumens der Röhre, vermehrt um  $\frac{\Sigma d}{n+1}$ , und ausserdem auch gleich dem Volumen des Röhrenstückes zwischen zwei benachbarten Theilstrichen  $i$  und  $k+d_k$ , d. h. gleich  $k+d_k-i$ . Daraus folgt, dass  $\frac{1}{n+1}$  der Röhre, welches nach Annahme  $= k-i - (x_k - x_i)$ , auch gleich

der Länge des Säulchens vermindert um  $\frac{\Sigma d}{n+1}$ , also gleich  $k - i + d_k - \frac{\Sigma d}{n+1}$  ist. Schaffen wir von beiden Seiten  $k - i$  fort, so erhalten wir:

$$-(x_k - x_i) = + d_k - \frac{\Sigma d}{n+1}$$

oder:

$$\frac{\Sigma d}{n+1} + x_i - x_k = d_k$$

Solcher Gleichungen erhalten wir im Ganzen  $n$ , d. h. so viel, als Zwischentheilpunkte, deren Correctionen bestimmt werden sollen, vorhanden sind.

In dieser Form kann die Methode aber keine genauen Resultate liefern, was denn auch wirklich der Fall ist, da die durch Beobachtungen zu bestimmenden  $d$  sich von der Grösse der zufälligen Fehler beim Beobachten nur wenig unterscheiden<sup>1)</sup>. Wenn die Anzahl der  $n+1$  Hauptpunkte, deren Correctionen man bestimmen soll, eine bedeutende ist, so führt diese Methode zu umfangreichen Berechnungen, da man ja ein System von  $2n$  Gleichungen ersten Grades zu lösen hat. Indessen ist die Form dieser Gleichungen eine symmetrische, und daher eben kann man die Rechnung ganz bedeutend vereinfachen, wenn man neue Hilfs-Unbekannte einführt, wie Hansen dieses zuerst vorgeschlagen hat. Es giebt mehrere Berechnungsmethoden; ich will hier nur Mareks Methode darlegen, welche Benoit im B. II, S. O. 35 u. ff. bespricht, und zwar dogmatisch, ohne Beweis. — Ich weise darauf hin, dass diese Methode eine allgemeine ist und daher zum Calibriren von Thermometern ebenso gut, wie zum Calibriren von allen möglichen Scalen, die in gleiche Theile getheilt werden sollen, benutzt werden kann.

Nehmen wir an, dass wir eine Scala haben, die aus 2 End- und  $n$  Zwischenpunkten besteht; es sollen nun die  $n$ -Correctionen  $x_2, x_3 \dots x_{n+1}$  dieser Zwischentheilpunkte

<sup>1)</sup> Es bleibt nur ein Mittel. Man muss viel mehr Beobachtungen machen, als unumgänglich nothwendig, um daraus nach der Methode der kleinsten Quadrate die Werthe von  $x$  zu berechnen.

bestimmt werden, unter der Voraussetzung, dass die Correctionen der Endpunkte  $x_i$  und  $x_{n+1}$  gleich Null sind.

Zu diesem Zweck theilen wir zuerst ein Säulchen von der Länge  $\frac{1}{n+1}$  der ganzen, gleich  $L$  gesetzten Scala ab,

d. h.  $\frac{L}{n+1} + \lambda_{n+1}$  und bestimmen die Grössen  $a_1, a_2, \dots$

$a_{n+1}$ , welche anzeigen, um wie viel die Länge des Säulchens die Zwischenräume von der 1. Theilung bis zur 2., der 2. bis zur 3. . . . der  $(n+1)$  bis zur  $(n+2)$  übertrifft.

Die Grösse  $\lambda_{n+1}$ , welche einstweilen unbekannt bleibt, ist mit dem Bruch  $\frac{\Sigma d}{n+1}$  der Gay-Lussac'schen Methode identisch.

Es ist also:

$$\frac{L}{n+1} + \lambda_{n+1} = k - i + a_i;$$

laut Annahme ist aber

$$\frac{L}{n+1} = k - i - (x_k - x_i),$$

folglich ist

$$\lambda_{n+1} = a_i + (x_k - x_i),$$

oder

$$\lambda_{n+1} + x_i - x_k = a_i.$$

Für jede der  $n+1$  verschiedenen Lagen des ersten Säulchens erhalten wir je eine Gleichung von dieser Gestalt; eine jede wird eine neue Constante  $a$ , die durch Beobachtung bestimmt wird, und dieselbe Unbekannte  $\lambda_{n+1}$ , welche die Länge des Säulchens bezeichnet, enthalten.

Hierauf trennt man ein  $\frac{2L}{n+1} + \lambda_n$  gleiches Säulchen ab; dieses wird bloss  $n$  verschiedene Lagen einnehmen können, und es geben daher die mit demselben angestellten Beobachtungen bloss  $n$  Gleichungen von der bekannten Form. Indem man in dieser Weise fortfährt, kann man im Ganzen  $n$  Säulchen nehmen; das letzte, dessen Länge  $\frac{n}{n+1}L$  be-

$l_1 = \frac{L}{n+1} + \lambda_{n+1}$	$l_2 = \frac{2L}{n+1} + \lambda_n$	$\dots$	$l_{n-1} = \frac{n-1}{n+1}L + \lambda_2$	$l_n = \frac{nL}{n+1} + \lambda_1$
$\lambda_{n+1} + x_1 - x_2 = a_1$ $\lambda_{n+1} + x_2 - x_3 = a_2$ $\lambda_{n+1} + x_3 - x_4 = a_3$ $\vdots$ $\lambda_{n+1} + x_n - x_{n+1} = a_n$ $\lambda_{n+1} + x_{n+1} - x_{n+2} = a_{n+1}$	$\lambda_n + x_1 - x_2 = b_1$ $\lambda_n + x_2 - x_3 = b_2$ $\lambda_n + x_3 - x_4 = b_3$ $\vdots$ $\lambda_n + x_{n-1} - x_n = b_{n-1}$ $\lambda_n + x_n - x_{n+1} = b_n$		$\lambda_3 + x_1 - x_n = p_1$ $\lambda_3 + x_2 - x_{n+1} = p_2$ $\lambda_3 + x_3 - x_{n+2} = p_3$	$\lambda_2 + x_1 - x_{n+1} = q_1$ $\lambda_2 + x_2 - x_{n+2} = q_2$
$S_{n+1} = \Sigma a$ $\frac{S_{n+1}}{n+1} =$ $\frac{2S_{n+1}}{n+1} =$ $R_{n+2} =$	$S_n = \Sigma b$ $\frac{S_n}{n} =$ $\frac{2S_n}{n} =$ $R_{n+1} =$	$S_3 = p_1 + p_2 + p_3$ $\frac{S_3}{3} =$ $\frac{2S_3}{3} =$ $R_3 = 0$	$S_2 = q_1 + q_2$ $\frac{S_2}{2} =$ $\frac{2S_2}{2} =$ $R_2 = 0$	

trägt, wird nur zwei verschiedene Lagen einnehmen können und also bloss 2 Gleichungen geben. Die gesammte Anzahl der Gleichungen, in denen  $n$  unbekante Grössen  $\lambda$  und die  $n$  Unbekannten  $x$  vorkommen, wird gleich sein:

$$(n+1) + n + (n-1) + \dots + 2 = \frac{(n+1)+2}{2} \cdot n = \frac{n(n+3)}{2}.$$

Die Resultate der Ausmessung kann man dann in Form der nebenstehenden Tabelle zusammenfassen. Hier bedeuten  $a_1, a_2 \dots a_{n+1}, b_1, b_2 \dots b_n$  Zahlen, ausgedrückt in Zehnteln der Scalentheilung (z. B. in Tausendsteln von Graden, wenn der Grad in Zehntel getheilt ist und das Resultat auf Hundertstel genau sein soll). Die Grössen  $\lambda$  und  $x$  sind bloss Symbole, welche Unbekante bezeichnen und in der Tabelle zur Unterscheidung der Zahlen  $a, b \dots c$  von einander dienen.

Aus diesen Gleichungen erhält man bei Anwendung der Additionsmethode  $2n$  sog. normale Gleichungen, welche zum Bestimmen von  $2n$  Unbekannten,  $\lambda$  und  $x$ , genügen. Die Lösung solch einer grossen Anzahl von Gleichungen auf dem gewöhnlichen Wege würde viel zu viel Zeit erfordern; ich werde daher Mareks Anleitung zu solchen Lösungen dogmatisch darlegen, ohne die Beweise anzuführen, ja selbst ohne die normalen Gleichungen voll auszuschreiben. Das Princip dieser Methode, welches bereits von Hansen vorgeschlagen worden ist, besteht im Einführen von neuen Unbekannten  $P$  und  $Q$ , welche durch folgende Ausdrücke bestimmt sind:

$$x_{n+2} + x_1 = P_{n+2}; \quad x_{n+1} + x_2 = P_{n+1}; \quad x_n + x_3 = P_n \dots \\ x_{n+2} - x_1 = Q_{n+2}; \quad x_{n+1} - x_2 = Q_{n+1}; \quad x_n - x_3 = Q_n \dots$$

Wenn wir alle  $P$  und  $Q$  finden, so werden alle  $x$  durch die halben Summen und halben Differenzen dieser Grössen ausgedrückt:

$$x_{n+2} = \frac{1}{2}(P_{n+2} + Q_{n+2}) \dots x_1 = \frac{1}{2}(P_{n+2} - Q_{n+2}) \dots$$

Die Form der Gleichungen ist in allen Fällen eine und dieselbe, während die Grösse des numerischen Coefficienten bloss durch die Anzahl der Theilpunkte, welche einer Correction unterworfen werden sollen, bedingt wird; aus diesem

$x_{n+2}$	$x_{n+1}$
$x_{n+2} - x_{n+1} - \lambda_{n+1} = -a_{n+1}$	$x_{n+1} + x_{n+2} + \lambda_{n+1} = a_{n+1}$
$x_{n+2} - x_n - \lambda_n = -b_n$	$x_{n+1} - x_n - \lambda_{n+1} = -a_n$
$x_{n+2} - x_{n-1} - \lambda_{n-1} = -c_{n-1}$	$x_{n+1} - x_{n-1} - \lambda_n = -b_{n-1}$
$\vdots$	$\vdots$
$x_{n+2} - x_3 - \lambda_3 = -p_3$	$x_{n+1} - x_2 - \lambda_3 = -p_2$
$x_{n+2} - x_2 - \lambda_2 = -q_2$	$x_{n+1} - x_1 - \lambda_2 = -q_1$
$t_{n+2} = -a_{n+1} - b_n \dots - q_2$	$t_{n+1} = a_{n+1} - a_n \dots - q_1$
$M_{n+2} = S + t_{n+2}$	$M_{n+1} = S + t_{n+1}$

$$2S = t_{n+1} + t_n +$$

Grunde hat Marek die Formeln für die Coefficienten aufstellen und sogar eine Tabelle zusammenstellen können, zwecks Erleichterung der Arbeit. Man beginnt damit, dass man in jeder Columnne der Tabelle alle  $a$ , alle  $b \dots$  u. s. w. unter Berücksichtigung der respectiven Vorzeichen addirt. Hierauf berechnet man  $\frac{S_m}{m}$  und  $\frac{2S_m}{m}$  und dann die Coefficienten  $R$  aus den Formeln:

$$R_{n+2} = \frac{2S_{n+1}}{n+1} + \frac{2S_n}{n} + \frac{2S_{n-1}}{n-1} + \dots + \frac{2S_4}{4} + \frac{2S_3}{3} + \frac{2S_2}{2}$$

$$R_{n+1} = \frac{2S_n}{n} + \frac{2S_{n-1}}{n-1} + \dots + \frac{2S_4}{4} + \frac{2S_3}{3} + \frac{2S_2}{2}$$

$$R_n = \frac{2S_{n-1}}{n-1} + \dots + \frac{2S_4}{4} + \frac{2S_3}{3}$$

$$R_{n-1} = \frac{2S_{n-2}}{n-2} + \dots + \frac{2S_4}{4}$$

.....

Nachdem man alles dieses berechnet hat, stellt man eine zweite Tabelle auf Grund derselben Beobachtungen, aber in anderer Form, auf.

$x_n$	...	$x_2$	$x_1$
$x_n - x_{n+1} + \lambda_{n+1} = a_n$		$x_2 - x_3 + \lambda_{n+1} = a_2$	$x_1 - x_2 + \lambda_{n+1} = a_1$
$x_n - x_{n+2} + \lambda_n = b_n$		$x_2 - x_4 + \lambda_n = b_2$	$x_1 - x_3 + \lambda_n = b_1$
$x_n - x_{n-1} - \lambda_{n+1} = -a_{n-1}$		$x_2 - x_5 + \lambda_{n-1} = c_2$	$x_1 - x_4 + \lambda_{n-1} = c_1$
⋮		⋮	⋮
		$x_2 - x_{n+2} + \lambda_2 = q_2$	$x_1 - x_n + \lambda_2 = p_1$
$x_n - x_1 - \lambda_2 = -p_1$		$x_2 - x_1 - \lambda_{n+1} = -a_1$	$x_1 - x_{n+1} + \lambda_2 = q_1$
$t_n =$ $M_n = S + t_n$		$t_2 =$ $M_2 = S + t_2$	$t_1 =$ $M_1 = S + t_1$
$t_{n-1} + \dots + t_2$			

Diese Tabelle erhält man auf folgende Weise aus der ersten. In eine jede der  $n + 2$  verticalen Columnen trägt man alle die Gleichungen der 1. Tabelle, welche  $x$  mit ein und demselben Index enthalten, ein, wobei das Vorzeichen beibehalten wird, wenn  $x$  in der Gleichung mit dem Pluszeichen vorkommt, und das Vorzeichen der Gleichung umgekehrt wird, wenn vor  $x$  ein Minuszeichen steht. In der ersten und letzten Columnne werden  $n$  Zeilen, in den anderen dagegen je  $n + 1$  Zeilen sein.

Nachdem man die zweite Tabelle zusammengestellt hat, berechnet man die algebraischen Summen der rechten Seiten der Gleichungen in jeder Columnne  $t_{n+2}, t_{n+1} \dots t_2, t_1$ ; hierauf  $2S = \sum_{n+1} t$  und die Grössen:  $M_{n+2} = S + t_{n+2}, M_{n+1} = S + t_{n+1} \dots M_2 = S + t_2, M_1 = S + t_1$ .

Die Grössen  $P$  kann man durch diese  $M$  folgendermassen ausdrücken:

$$P_{n+2} = M_{n+2} + M_1 = 0$$

(identisch gleich; es ist dieses die Probe der Berechnung)

$$P_{n+1} = \frac{1}{n+2} (M_{n+1} + M_2)$$

$$P_n = \frac{1}{n+2} (M_n + M_3)$$

.....



Die Grössen  $Q$  dagegen erhält man aus den Gleichungen:

$$\begin{aligned}
 (n+2 - W_{(1, n+1)}) Q_{n+2} - W_{(2, n)} Q_{n+1} - W_{(3, n-1)} Q_n - \dots \\
 &= M_{n+2} - M_1 + R_{n+2} \\
 - W_{(2, n)} Q_{n+2} + (n+2 - W_{(2, n)}) Q_{n+1} - W_{(3, n-1)} Q_n - \dots \\
 &= M_{n+1} - M_2 + R_{n+1} \\
 - W_{(3, n-1)} Q_{n+2} - W_{(3, n-1)} Q_{n+1} + (n+2 - W_{(3, n-1)}) Q_n - \dots \\
 &= M_n - M_3 + R_n \\
 - W_{(4, n-2)} Q_{n+2} - W_{(4, n-2)} Q_{n+1} - W_{(4, n-2)} Q_n + \\
 &+ (n+2 - W_{(4, n-2)}) Q_{n-1} \\
 &= M_{n-1} - M_4 + R_{n-1}.
 \end{aligned}$$

Dabei bedeutet  $W_{i, k} = 2 \left( \frac{1}{i} + \frac{1}{i+1} + \frac{1}{i+2} + \dots + \frac{1}{k} \right)$ .

Was die Coefficienten anbetrifft, so giebt Benoit in Bd. II, S. C. III eine Tabelle aller Combinationen für  $i$  von 1 bis 15 und für  $k$  von 1 bis 30.

Diese Gleichungen zu lösen ist recht leicht, dank der leicht bemerkbaren Eigenschaft der Coefficienten und dem Umstande, dass, nach Uebereinkunft,

$$Q_{n+2} = x_{n+2} - x_1 = 0.$$

Indem man  $Q_{n+2} = 0$  setzt und die erste Gleichung von der zweiten subtrahirt, eliminirt man alle  $Q$  bis auf  $Q_{n+1}$ ; indem wir nun diese Grösse in die zweite Gleichung einsetzen und letztere von der dritten subtrahiren, bestimmen wir  $Q_n$ , und wenn man in dieser Weise fortfährt, so kann man alle übrigen  $Q$  bestimmen. Wenn aber  $P$  und  $Q$  bekannt sind, so kann man alle  $x$  mit Hilfe der angeführten Formeln bestimmen, die Grössen  $\lambda$  dagegen aus folgenden Formeln berechnen:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{n+1} &= \frac{1}{n+1} S_{n+1}. \\
 \lambda_n &= \frac{1}{n} (S_n + Q_{n+1}). \\
 \lambda_{n-1} &= \frac{1}{n-1} (S_{n-1} + Q_{n+1} + Q_n) \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} (S_3 + Q_{n+1} + Q_n)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} (S_2 + Q_{n+1}).$$

Diese  $\lambda$  muss man kennen, wenn man die übrig bleibenden Fehler der Differenzen zwischen der berechneten und beobachteten Säulchenlänge berechnen will. Bei den Thermometern des Internationalen Bureaus beträgt diese Differenz höchstens 0,01°. Daher begnügt man sich gewöhnlich mit nur einer solchen Calibrirung.

Es ist jedoch leicht einzusehen, dass die ganze Methode auf einer Voraussetzung beruht, welche, wenn es sich um eine nicht vollkommen cylindrische Röhre handelt, stark von der Wirklichkeit abweicht. Wenn wir die Länge des Säulchens zwischen den Theilpunkten  $i$  und  $k$  messen, so stehen die Enden desselben bei  $i + \Delta i$  und  $k + \Delta k$  und wird die wirkliche Länge des Säulchens, d. h. in berichtigten Graden, durch folgende Differenz ausgedrückt:

$$(k + \Delta k + x_{k + \Delta k}) - (i + \Delta i + x_{i + \Delta i}) = k - i + (\Delta k - \Delta i) + (x_{k + \Delta k} - x_{i + \Delta i}) = a + k - i.$$

Bei Anwendung der besprochenen Calibrirungsmethode nahmen wir  $x_{k + \Delta k} = x_k$  und  $x_{i + \Delta i} = x_i$  an, da wir die unbekanntenen  $\Delta$  nicht in die Rechnung einführen konnten. Dieses entspricht der Voraussetzung, dass die Verschiebung des einen Säulenendes von  $i$  zu  $i + \Delta i$  oder von  $k$  zu  $k + \Delta k$  die Länge des Säulchens nicht verändert, welche Voraussetzung aber oft durchaus nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmen will, besonders bei einem Thermometer mit unregelmäßiger Röhre, welches daher in Grade von verschiedener Länge getheilt ist. Aus diesem Grunde kann man bloss gute Thermometer mit kleinen Fehlern in der Theilung mit Erfolg calibriren. Man kann aber auch diese erste Calibrirung bloss als die erste Annäherung betrachten und auf Grund der Resultate desselben die ganze Berechnung mit grösster Genauigkeit wiederholen. Die Correction irgend eines Punktes der Scala eines Thermometers, welche gleich grosse Grade besitzt, muss nämlich durch eine continuirliche

Funktion  $\Phi_k$  von der Entfernung dieses Punktes vom Ausgangspunkte der Theilung ausgedrückt werden können, da der Querschnitt sich bei Thermometerröhren continüirlich verändert, was durch die Herstellungsart derselben bedingt ist. Bei einer Scala mit ungleichen Graden lässt sich jedoch dieses nicht behaupten. Bei gleich langen Graden aber ist:

$$x_{i+\Delta i} = x_i + \Delta i \cdot \Phi_i; \quad x_{k+\Delta k} = x_k + \Delta k \cdot \Phi_k.$$

Wenn man aus der ersten Annäherung die Correctionen der Hauptpunkte kennt, so kann man annehmen, dass die Veränderung derselben durch eine Curve dargestellt wird, welche man durch graphisches Interpoliren bestimmt. Zu diesem Zweck trägt man auf quadrirtem Papier längs der Abscissenaxe die Scala auf, während die Correctionen  $x_i, x_k \dots$  auf die Ordinatenaxe kommen (der Maßstab muss hierbei entsprechend der Grösse der letzteren vergrößert werden). Die ununterbrochene Curve, durch welche die erhaltenen Punkte verbunden werden, macht ein Bestimmen der Zahlenwerthe von  $x$  für einen jeden Punkt der Scala möglich, folglich auch für die Punkte  $i + \Delta i, k + \Delta k$ . Mit  $a_i$  bezeichnen wir die Differenz zwischen der Säulenlänge und der Entfernung der Hauptpunkte  $k$  und  $i$ , d. h. die Differenz  $\Delta k - \Delta i$ ; jetzt können wir auch

$$a_i = \Delta k - \Delta i + (x_{k+\Delta k} - x_{i+\Delta i})$$

bestimmen.

Indem wir nun die auf diese Art gefundenen Werthe für  $a'_1, a'_2 \dots b'_1, b'_2 \dots$  in die entsprechenden Gleichungen der Tabellen I und II einsetzen und die ganze Berechnung wiederholen, können wir die zweite Annäherung der Calibrirung finden. Für Tonelot'sche Thermometer ist jedoch diese zweite Berechnung überflüssig.

Die besprochene Calibrirungsmethode giebt die Fehler bloss für die Entfernung von der ersten bis zur  $(n+2)$ ten Theilung der Scala an. Oftmals fallen jedoch der Null- und nicht der wirkliche Siedepunkt mit den Endpunkten der Scala zusammen; in diesem Falle wird es für die Grössen  $P_{n+2}$  und  $Q_{n+2}$  bestimmte Werthe geben, welche sich von 0 unterscheiden. Die Gleichungen für  $P$  nehmen dann folgende Gestalt an:

$$\begin{aligned}
 0 &= M_{n+s} + M_1 \\
 P_{n+1} &= \frac{1}{n+2} (M_{n+1} + M_2) + P_{n+s} \\
 P_n &= \frac{1}{n+2} (M_n + M_3) + P_{n+s} \\
 &\dots \dots \dots
 \end{aligned}$$

Q berechnet man auf die bereits bekannte Art, indem man das die bekannte Grösse enthaltende Glied  $Q_{n+s}$  auf die rechte Seite einer jeden Gleichung schafft. Um die Werthe für  $\lambda$  zu erhalten, muss man zu jedem  $\lambda$   $Q_{n+s}$  addiren, d. h.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{n+1} &= \frac{1}{n+1} (S_{n+1} + Q_{n+s}); \\
 \lambda_n &= \frac{1}{n} (S_n + Q_{n+s} + Q_{n+1}) \\
 &\dots \dots \dots
 \end{aligned}$$

Im Internationalen Bureau zieht man jedoch ein Calibriren innerhalb der constanten Punkte der Scala vor.

Manchmal muss man die Resultate zweier von einander unabhängigen Calibrirungen einer und derselben Scala, welche sich auf verschiedene  $L$  beziehen, vereinigen, oder man kommt in die Lage, eine fertige Tabelle für eine andere Entfernung der Endpunkte umrechnen zu müssen. Nehmen wir z. B. an, dass wir die Calibrirung eines Thermometers von  $-5^\circ$  bis  $+105^\circ$  nach der angeführten Methode berechnet hätten. Dann werden  $x_5$  und  $x_{105} = 0$  sein, dagegen  $x_0$  und  $x_{100}$  nicht  $= 0$ . Wollten wir auch diese Correctionen  $= 0$  machen, d. h. die Calibrirung auf den Theil innerhalb der constanten Punkte reduciren, so müssten wir die ganze Berechnung umkehren. Wenn man von allen  $x$  die Grösse  $x_0$  subtrahiren wollte, so würde dieses einer Verschiebung aller Säulchen um die Grösse dieser Correction gleichkommen, wobei die Länge derselben sich unmerklich verändert, wie wir dieses ja als Grund unserer Betrachtungen angenommen haben. Die Correction  $x_{100}$  wird jedoch bei einer solchen Umformung nicht  $= 0$ , sondern gleich der Differenz  $x_{100} - x_0$ ; auch ist ein solches Umformen selten erforderlich. Es hält jedoch nicht schwer,

alle Correctionen für die neue Entfernung der Endpunkte umzurechnen. Nehmen wir an, dass die Correctionen zweier Punkte der Scala,  $a$  und  $b$ , also  $x_a, x_b$  und  $y_a, y_b$  uns nach beiden Systemen bekannt seien; dann kann augenscheinlich für irgend einen Punkt  $m$  die Gleichung:

$$\frac{(m + x_m) - (a + x_a)}{(b + x_b) - (a + x_a)} = \frac{(m + y_m) - (a + y_a)}{(b + y_b) - (a + y_a)}$$

aufgestellt werden.

Lösen wir diese Gleichung in Bezug auf  $y_m$  auf, so erhalten wir einen Ausdruck von der Form:

$$y_m = \frac{x_m - x_a - A(m - a)}{B} + y_a,$$

wo

$$A = \frac{(x_b - x_a) - (y_b - y_a)}{(b + y_b) - (a + y_a)}, \quad B = \frac{(b + x_b) - (a + x_a)}{(b + y_b) - (a + y_a)}.$$

Nun ist aber  $B$ , da die Aenderungen  $x$  und  $y$  in der Regel sehr kleine Grössen sind, oft der Einheit so nahe, dass man diese Grösse dann gleich 1 setzen kann, um die Formel zu vereinfachen<sup>1)</sup>.

Als Resultat einer solchen Calibrirung erhält man eine auf dem quadrirten Papier construirte Curve; mit Hilfe derselben kann man die Correctionen für jeden  $\frac{1}{2}^0$  berechnen; eine grosse Anzahl solcher Tabellen findet man in den Memoiren des Bureaus, Band II, Seite C. V und VI.

Im Internationalen Bureau beobachtet man die Lage des Säulchens beim Calibriren mit Hilfe eines besonderen Instrumentes, welches mit Fernrohr-Microscopen versehen ist, die eine 10—15 fache Vergrösserung besitzen und etwa 12 cm vom Thermometer entfernt aufgestellt werden. Die Vergrösserung und Entfernung wählt man entsprechend der Stärke der Striche auf der Scala und der Dicke der Röhre, so dass man gleichzeitig das Säulchen und die Scala beobachten kann. Um durch die Parallelaxe bedingte Fehler zu vermeiden, sieht man durchs Fernrohr zuerst, wenn die Theilungen näher sind als das Säulchen, dreht dann die

<sup>1)</sup> Eine von dieser verschiedene geometrische Ausführung einer ähnlichen Formel giebt Guillaume in B. V, p. 9.

Thermometerröhre um  $180^{\circ}$  und wiederholt die Ablesung. Im Gesichtsfelde des Rohres ist zwar ein Fadenkreuz aufgespannt, doch zieht man es vor, nach Augenmafs in Hundertsteln der Scalentheilung abzulesen. Die Beobachter im Internationalen Bureau sind in diesem Ablesen bereits so gut geübt, dass diese Genauigkeit auch eine wirkliche ist, was schon daraus hervorgeht, dass die Beobachtungen und Berechnungen sich oftmals bloss um Tausendstel unterscheiden. Um den Einfluss der Temperaturveränderungen des Sälchens auszuschliessen, schiebt man dasselbe zuerst nach der einen Seite und bei fortgesetzter Beobachtung nach der anderen; beim Berechnen nimmt man dann das arithmetische Mittel der beiden für jeden Hauptpunkt erhaltenen Zahlen. Berechnet man weiter die Calibrirung, so benutzt man das arithmetische Mittel einer Reihe von solchen Beobachtungen.

Es bleibt also bloss noch zu sagen übrig, wie man Sälchen von erforderlicher Länge abtheilt. Wenn die Thermometerröhre recht eng ist, so fällt dieses nicht schwer. Man kehrt das Reservoir nach oben und giebt der Langseite der Röhre einen mehr oder weniger starken Stoss, was die Trennung eines Sälchens bewirkt. Vereinigt man letzteres hierauf durch leichtes Stossen mit der gesammten Quecksilbermenge, erwärmt dann das Thermometer und giebt demselben nach vorhergegangenen Abkühlen wieder einen Stoss, so trennt sich das Sälchen an der früheren Stelle der Scala, ist jedoch um soviel Grade länger oder kürzer, als man die Temperatur des Thermometers verändert hat. Bei breiten Röhren fliesst aber oftmals das gesammte Quecksilber in die Röhre ab, während im Reservoir ein luftleerer Raum entsteht, was alles zur Folge hat, dass die Säule sich nicht theilt. In diesem Falle muss man das Thermometer geschwind umkehren und dasselbe schütteln, bevor noch die ganze Quecksilbersäule ins Reservoir abgeflossen ist. Wenn sich jetzt an der Basis der Röhre eine kleine Luftleere bildet, so trennt sich bei Ausübung eines leichten Stosses die Säule an dieser Stelle. Im allgemeinen geht jedoch in breiten Röhren das Trennen eines Sälchens nicht so leicht von statten, wie in guten Thermometern mit engen Röhren; bald lässt das Sälchen sich überhaupt nicht trennen, bald trennt es sich

an einer anderen, durchaus nicht passenden Stelle, besonders wenn dasselbe kurz ist. — Ungenau gearbeitete Thermometer, mit Luft und Schmutz in der Röhre, lassen sich überhaupt nicht calibriren.

## II. Die Bestimmung des Druckcoefficienten.

Die Wände des Thermometers unterliegen dem hydrostatischen Druck des Quecksilbers, welcher proportional ist der Höhe der Säule und dem Sinus des Winkels, den die Axe der Quecksilbersäule mit einer horizontalen Linie bildet. Will man das Quecksilber bei einem empfindlichen Thermometer merklich steigen lassen, so genügt hierzu eine Vertauschung der verticalen Lage mit der horizontalen. Ebenso steigt das Thermometer beim Eintauchen in eine beliebige Flüssigkeit. Eine Correction in Bezug auf genannten Druck vorzunehmen, hält nicht schwer, da man weiss, dass die Verschiebung der Säule direct proportional dem hydrostatischen Druck ist, welchem die Thermometerwände ausgesetzt sind.

Nach zahlreichen Versuchen ist man im Bureau übereingekommen, den Coefficienten des äusseren Druckes,  $\beta_e$ , für jedes Thermometer auf experimentalem Wege mit Hilfe eines von Pernet eigens zu diesem Zwecke construirten Apparates zu bestimmen; der Coefficient des inneren Druckes,  $\beta_i$ , gilt dagegen als gleich  $\beta_e$ , multiplicirt mit dem Coefficienten der Zusammenziehung des Quecksilbers, welcher, nach Descamp's Versuchen,  $1,87 \cdot 10^{-6}$  pro Atmosphäre beträgt. Der Bequemlichkeit halber drückt man diese Zahlen in Graden für jeden mm des Druckes, und zwar folgendermassen aus:

$$\beta_i = \beta_e + 0,0000154.$$

Der Coefficient  $\beta_e$  kann recht verschiedene Werthe annehmen; bei Tonelot'schen Thermometern übersteigt derselbe kaum  $0,0001$  <sup>1)</sup>, d. h. das Quecksilber steigt um  $0,0001^\circ$ , wenn der Druck um 1 mm stärker wird. Wenn die Temperatur steigt, so wird  $\beta$  kaum merklich grösser, etwa um  $0,000156$  pro Grad.

Man bestimmt  $\beta_e$  folgendermassen. Das zu untersuchende

<sup>1)</sup> Für Tonelot No. 4381 ist z. B.

$$\beta_e = 0,000010167 \pm 0,00000031.$$

Thermometer wird in eine Glasröhre von 75 cm Länge und 1,5 cm Durchmesser gethan, welche Röhre unten zugeschmolzen und oben mit einem Kautschukpfropfen verschlossen ist, durch den ein Metallstab mit einem Haken geht; an diesen Haken hängt man das Thermometer. Das obere Ende dieser Röhre besitzt zwei mit Hähnen versehene angeschmolzene Röhrchen; das eine Röhrchen verbindet den Apparat mit einem Manometer und mit einem verdünnte Luft enthaltenden Behälter, während das andere direct mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht. In die Röhre giesst man ein wenig Quecksilber und auf dieses Glycerin bis zur Höhe des angeschmolzenen Röhrchens, damit die Theilungen besser sichtbar und das Volumen der eingeschlossenen Luft verringert werde. Um Temperaturveränderungen nach Möglichkeit auszuschliessen, steckt man das untere Röhrende in einen Eimer mit Wasser, welches die gewöhnliche Zimmertemperatur besitzt. Das Experiment selbst geht in folgender Ordnung vor sich. Zuerst, d. h. wenn der den Apparat mit der Atmosphäre verbindende Hahn noch offen ist, liest man am Thermometer  $a_n$  ab; hierauf schliesst man diesen Hahn, öffnet den zum Reservoir führenden und liest am Manometer die Differenz zwischen dem inneren und dem atmosphärischen Drucke  $P_n$  und am Thermometer  $a'_n$  ab. Dann wiederholt man augenblicklich diesen Versuch und erhält  $a_{n+1}$ . Es ist jetzt:

$$P_n \beta_e = \left( \frac{a_n + a_{n+1}}{2} - a'_n \right).$$

Auf diese Art beseitigt man den Einfluss des kaum merklichen, allmählichen Steigens der Temperatur des Apparates, welches eine Folge davon ist, dass man diese Untersuchung in der Nähe eines Brenners ausführt. Es geschieht aber letzteres, um den Einfluss der Capillarität und der Reibung, welche beide auf die Lage der Säule beim abwechselnden Steigen und Fallen einwirken könnten, nach Möglichkeit auszuschliessen. Gewöhnlich bestimmt man nach einander 40  $a'$  und 41  $a$  und lässt den Druck  $P$  sich hierbei etwa von 200 mm Quecksilber bis zu 300 mm verändern.



### III. Das Bestimmen der Fundamentalpunkte.

Die im Internationalen Bureau zum Bestimmen der Fundamentalpunkte des Thermometers gebräuchlichen Apparate unterscheiden sich von den allgemein angewandten bloss in einigen Details der Construction. — Wenn das Thermometer bei der Bestimmung des Siedepunktes sich in verticaler Lage befindet, so besitzt der hydrostatische Druck der Quecksilbersäule sein Maximum; daher legt man das Thermometer beim Ablesen horizontal und giebt dem Apparat eine besondere Einrichtung. Ein Thermometer in horizontaler Lage erhitzen ist dagegen nicht zweckmässig, da Reibung und Capillarität bewirken können, dass die Säule beim Fallen der Temperatur sich theilt oder gar ein wenig stecken bleibt. Daher leitet man den Dampf aus einem feststehenden Kesselchen durch ein Bleirohr in die eine Hälfte der horizontalen, röhrenförmigen Axe des Apparates, um die sich eine doppelte Röhre der Rudber'schen Apparate von gewöhnlicher Construction mit 71 cm Länge und 6 cm Durchmesser, in welche das Thermometer gelegt wird, dreht. Die andere Axenhälfte dient zum Ueberführen des Dampfes aus dem äusseren Theile der concentrischen Röhren in einen feststehenden Liebig'schen Kühler; das in dem zuletztgenannten Apparat sich niederschlagende Wasser fliesst dann wieder in das Kesselchen ab. Ein Manometer steht in beständiger Verbindung mit der röhrenförmigen Axe des Apparates. Zwecks genauer Ablesung der Thermometerangaben ist am oberen Ende des Apparates ein Microscop angebracht.

Bei der Bestimmung des Nullpunktes gebraucht man einen Glascylinder mit doppelten Wänden; man füllt denselben mit fein zerriebenem, in destillirtem Wasser gewaschenem Eise und stellt in diesem mit Hilfe eines Glasstabes eine Vertiefung für das Thermometer her. Den Ueberschuss an Wasser lässt man abfliessen; das Eis muss jedoch recht nass sein. Zum Zerkleinern des Eises bedient man sich im Bureau eines besonderen Instrumentes, welches in der Grösse und Construction durchaus mit einem Kohlhobel übereinstimmt. Grosse Eisstücke behalten auf recht lange Zeit eine Temperatur, die unter  $0^{\circ}$  liegt, während zerkleinertes Eis constante Resultate liefert, selbst wenn dasselbe verschie-

denen Ursprunges ist; vor allem aber muss das Eis rein sein. Nach Mareks Versuchen<sup>1)</sup> kann man unter Beobachtung aller dieser Vorsichtsmafsregeln die Lage des Nullpunktes bis auf  $0,002^{\circ}$  C. genau bestimmen; wenn man aber nicht Mafsregeln ergreift, um die ganze Eismenge bis zu  $0^{\circ}$  zu erwärmen, so kann der Nullpunkt um  $0,1^{\circ}$  zu niedrig zu stehen kommen. Nach einem Durchwaschen in destillirtem Wasser giebt gewöhnliches zerkleinertes Eis, Schnee und Eis aus chemisch reinem Wasser nahezu dieselben Resultate.

Man bestimmt zuerst den Siedepunkt, zu welchem Zweck man das Thermometer etwa 20 Minuten lang in verticaler Lage bis zu  $100^{\circ}$  erwärmt, hierauf dasselbe in die horizontale Lage bringt und das Resultat abliest. Dann kühlt man das Thermometer schnell ab und steckt dasselbe in den Apparat zur Bestimmung des Nullpunktes. Man kann dieses ohne Gefahr einige Minuten nach dem Bestimmen des Siedepunktes thun, wenn man das Thermometer zuerst in der Hand abkühlt. Es ist jedoch auch vorgekommen, dass bei zu hastigem Arbeiten Thermometer an der Basis der Röhre platzten. Beim Ablesen am Barometer zur Bestimmung der Siedetemperatur notirt man die Zeit, damit eine Veränderung des Druckes durchaus ausgeschlossen sei. Die Höhe des Barometers reducirt man auf  $0^{\circ}$  nach der Formel:

$$H_0 = H \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + 0,00018153 t} m,$$

in welcher  $\alpha$  der Ausdehnungscoefficient der Barometerscala ist und  $m$  ein von dem Orte der Beobachtung abhängiger Coefficient, welcher zur Reduction auf den 45. Breitengrad und das Meeresniveau dient.

Es erübrigt jetzt bloss, sich mit den Regeln bekannt zu machen, nach welchen man im Internationalen Bureau die Temperatur des Thermometers aus dessen Angaben berechnet<sup>2)</sup>.

I. Nachdem man an der Scala  $n$  abgelesen hat, addirt man dazu die Correction  $x_n$  aus der Tabelle I, welche die Resultate der Calibrirung des Thermometers enthält. Die berichtigte Angabe wird dann sein

$$n' = n + x_n.$$

<sup>1)</sup> S. B. I, S. B. 13.

<sup>2)</sup> S. B. I, S. D. 4. Pesées, par W. J. Marek.

II. Wenn während des Versuches das Thermometer, dessen Grade  $u_1$  mm lang sind und bei dem die Entfernung von  $0^\circ$  bis zur Mitte des Reservoirs gleich  $u$  ist, auf 1 mm in eine Flüssigkeit mit dem specifischen Gewicht  $d$  getaucht und dem Einfluss eines Gases mit dem einer Quecksilbersäule von  $B'$  mm, reducirt auf  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  Breite und Höhe des Meeres entsprechenden Drucke ausgesetzt war, so wird die Correction  $\gamma$  in Bezug auf den Druck ausgedrückt durch die Formel:

$$\gamma = +\beta_i \left( u + nu_1 \right) \sin \alpha - \beta_e \left( B' + h \frac{d}{\delta_0} - 760 \right),$$

in welcher  $\delta_0$  das specifische Gewicht des Quecksilbers,  $\beta_i$  und  $\beta_e$  die Coefficienten des inneren, resp. des äusseren Druckes bezeichnen. Damit die Correction in Bezug auf den Druck leichter falle, muss man eine bereits vorher berechnete Tabelle besitzen. Daher kann man, wenn man bedenkt, dass  $\beta_i$  und  $\beta_e$  sehr klein und einander beinahe gleich sind, und mit  $B = B' + h \frac{d}{\delta_0}$  den äusseren Druck auf das Thermometer bezeichnet, die Formel folgendermassen umformen:

$$\gamma = \beta (u + nu_1) \sin \alpha + \beta (760 - B) = \gamma_1 + \gamma_2 \sin \alpha.$$

Bei einer horizontalen Lage, wenn  $\sin \alpha = 0$  ist, und also auch der innere Druck  $= 0$ , ist die zweite Correction überflüssig. Für die Correction  $\gamma_1$  stellt man für jedes Thermometer eine besondere Tabelle II von  $(760 - B)$  für je 1 cm innerhalb 720 und 770 mm zusammen, während  $\gamma_2$  für einen jeden Grad der Scala berechnet und in die Tabelle III eingetragen wird. Auf diese Weise ist nach der zweiten Correction:

$$n'' = n + x_n + \gamma.$$

III. Aus der auf diese Art erhaltenen Länge des Säulchens auf der Scala, ohne Berücksichtigung der Fehler des Calibers und der Veränderung des Volumens durch den Druck auf die Wände des Thermometers, muss man die Temperatur berechnen. Zu diesem Zweck ist es nothwendig, dass man von diesem Thermometer den in Bezug auf das Caliber corrigirten Null- und Siedepunkt oder irgend welche andere, die Temperatur  $t_1$  und  $t_2$  bezeichnenden Punkte kenne, denen die berichtigten Angaben  $n''_1$  und  $n''_2$  entsprechen.

Die Temperatur  $t_1$ , welche  $n''$  entspricht, giebt:

$$t = t_1 + \frac{n'' - n_1''}{n_2'' - n_1''} (t_2 - t_1).$$

Für ein Thermometer, welches bereits annähernd in Grade nach Celsius getheilt ist, wird  $\frac{t_2 - t_1}{n_2'' - n_1''}$  der Einheit sehr nahe kommen. Setzen wir also:

$$\frac{t_2 - t_1}{n_2'' - n_1''} = 1 + k, \text{ so ist}$$

$$t = \left[ n'' - \left( n_1'' - \frac{t_1}{1+k} \right) \right] (1+k) = (n'' - \zeta) (1+k).$$

Für Thermometer erster und zweiter Kategorie, welche Null- und Siedepunkt besitzen, wird  $\zeta$  die Correction des Nullpunktes und der Factor  $(1+k)$  die Correction des Fundamentalabstandes sein. Wenn das Thermometer schnellen und bedeutenden Temperaturveränderungen nicht ausgesetzt wird, so kann man die Lage des Nullpunktes von Zeit zu Zeit bestimmen und mittelst Interpolirens die Lage dieses Punktes für den Moment der Beobachtung berechnen. Wenn die Temperatur dagegen ganz bedeutend steigt, so muss man möglichst kurze Zeit, nachdem dieses erfolgt ist, die Lage des Nullpunktes durch einen Versuch bestimmen, wenn man völlige Genauigkeit haben will. Beim Zusammenstellen der Tabelle giebt man der Bequemlichkeit halber der Formel für die Correction des Fundamentalabstandes folgende Gestalt:  $t = (n'' - \zeta) (1+k) = (n + x_n + \gamma - \zeta) (1+k) = \eta + y_n$  wo  $\eta = n + x_n + \gamma - \zeta$ , d. h. gleich der in Bezug auf das Caliber, den Druck und die Lage des Nullpunktes corrigirten Angabe ist, während  $y_n = \eta k$ . In dieser Form berechnet man die IV. Correctionstabelle für jeden Grad. In die Tabelle V trägt man alle Bestimmungen des Nullpunktes der Reihe nach ein.

Bei Thermometern dritter Ordnung, deren Scala bloss den Nullpunkt besitzt, begnügt man sich mit weit einfacheren Correctionen. Eine Correction in Bezug auf den Druck ist hier überflüssig, während die Summe der Correctionen in Bezug auf das Caliber und die Grادلänge  $\varphi_n$  auf Grund von

Vergleichen mit Thermometern der ersten Categorie bestimmt wird. Bei einem solchen Thermometer ist:

$$t = n + \varphi_n - z,$$

wo  $z$  die unmittelbar beobachtete Lage des Nullpunktes bezeichnet.

Wenn das Thermometer längere Zeit der bei der Beobachtung herrschenden Temperatur ausgesetzt war, so kann man annehmen, dass der Nullpunkt die Lage angenommen hat, welche dieser Temperatur entspricht. Man kann in diesem Falle auch ohne unmittelbares Bestimmen des Nullpunktes nach der Beobachtung auskommen und die Lage desselben mit Hilfe der Tabelle für das Fallen besagten Punktes, welche für Tonelot'sche Thermometer zwischen  $-10^{\circ}$  und  $+190^{\circ}$  im Internationalen Bureau berechnet worden ist, bestimmen. Dieselben Zahlen kann man auch mit genügender Genauigkeit berechnen aus der Formel:

$$Z_t = Z_0 - 0,0008557 t - 0,000001218 t^2,$$

oder für jenaisches Glas:

nach Böttcher:  $Z_t = Z_0 - 0,00071 t + 0,0000008 t^2$ ,  
dagegen nach Guillaume:  $Z_t = Z_0 - 0,00073 t + 0,00000097 t^2$ ;  
für französisches Crystallglas;

$$Z_t = Z_0 - 0,0007972 t - 0,00003293 t^2.$$

$Z_0$  ist hierbei der letzten mit dem betreffenden Thermometer vorgenommenen Beobachtung entnommen.

#### Beispiel einer Temperaturbestimmung.

1879, 26. Mai, Temperatur  $A$  (B. I, S. D 11).

Thermometerangabe	$n = 13,025$	
(aus der Tabelle I).	$x_n = + 0,166$	
( " " " II).	$\gamma_1 = + 0,001$	
( " " " III).	$\gamma_2 = + 0,014$	
( " " " V).	$-\zeta = - 0,027.$	Der Druck $B$ = 757 mm.

(das Eintritts-Argument

der Tabelle IV) . . .  $\eta = 13,179$

(aus der Tabelle IV) . . .  $y_n = - 0,029$

$$t = 13,150.$$

Beispiel einer Bestimmung der constanten Punkte.

Das Thermometer *A* giebt am 9. December 1878 in kochenden Wasserdämpfen:

Zeit	Thermometerangabe	Manometer
= 1 U. 34 M.	$n_2 = 99,364$	$m = 15,2$ mm
39	382	15,5
50	366	10,5
52	381	9,7

Im Durchschnitt: 1 U. 44 M.  $n_2 = 99,373$   $m = 12,7 = 0,93$  mm Quecksilber.

$x_n = -0,053$  + 745,90 Correction des Barometerdruckes um 1 U. 44 M.

( $B = 747$  mm)  $\gamma_1 = +0,002$  746,83 Spannkraft der Wasserdämpfe.  
 $\gamma_2 = +0,047$  Nach Regnault:  $t_2 = 99,512^\circ \text{C}$ .  
 $n'_2 = 99,369$

um  $\tau_0 = 1$  U. 53 M. aus dem Apparat genommen und in Schnee gesteckt.

Zeit	Thermometerangabe	
$\tau_0 = 2$ U. 0 M.	$n_1 = -0,366$	$t_1 = 0,000^\circ \text{C}$ .
2	362	
4	365	
7	363	
10	363	
15	361	
2 U. 18 M.	- 0,352	

Die Resultate können ausgedrückt werden durch die Formel:

$$n_1 = -0,370 + 0,00056 (\tau - \tau_0) \text{ Minuten.}$$

Um 1 U. 53 M. ist nach dieser Formel

$$(B = 746 \text{ mm}) \quad \begin{aligned} n_1 &= -0,370 \\ x_n &= -0,004 \\ \gamma_1 &= +0,002 \\ \gamma_2 &= +0,009 \\ n'_1 &= -0,363 \end{aligned}$$

$$k = \frac{t_2 - t_1}{n'_2 - n'_1} = \frac{99,512 - 0,000}{(99,369) - (-0,363)} - 1 = -0,002208.$$

Die auf diese Art bestimmte Temperatur bezieht sich auf die normale Scala des Quecksilberthermometers, welche sich bekanntlich von der absoluten, theoretisch begründeten unterscheidet. Da eine absolute Scala einstweilen noch nicht realisirt ist, so gilt als normale die der absoluten nach Möglichkeit nahe kommende Scala eines Wasserstoffthermometers. Das Internationale Comité der Gewichte und Mafse nimmt als normale Scala die hunderttheilige eines solchen Thermometers an;  $0^{\circ}$  entsprechen der Temperatur des thauenden Eises,  $100^{\circ}$  der Temperatur des siedenden destillirten Wassers bei normalem Barometerdruck. Der Wasserstoff wird hierzu bei einem Druck von 1 m genommen, d. h. bei

$$\frac{1000}{760} = 1,3158 \text{ des normalen Druckes.}$$

Auf Grund von sorgfältig ausgeführten Versuchen hat Chapuis eine Tabelle der Correctionen zusammengestellt, welche man zu den Angaben nach der normalen Scala des Quecksilberthermometers addiren muss, um die entsprechende Temperatur nach der Scala des normalen Wasserstoffthermometers zu erhalten. Diese Tabelle reicht also bloss von  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$ .

Für Temperaturen von  $100^{\circ}$  bis  $200^{\circ}$  ist eine solche Tabelle auf Grund von Versuchen, welche Wiebe und Böttcher mit einem Luftthermometer vorgenommen haben, zusammengestellt worden<sup>1)</sup>. Der Unterschied in den Angaben des Luft- und des Wasserstoffthermometers ist ein unbedeutender; allgemein hält man aber Wiebes Resultate für weniger zuverlässig als diejenigen des Internationalen Bureaus.

<sup>1)</sup> Ztschr. f. Instrumentenkunde, 1890. S. 16—28, 233—246.











This book should be returned to  
the Library on or before the last date  
stamped below.

A fine of five cents a day is incurred  
by retaining it beyond the specified  
time.

Please return promptly.

Chem 7558.95  
Die Bearbeitung des Glases auf dem  
Cabot Science 001380785



3 2044 091 941 997